IOAN SÂRBU

OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI

EDITURA ACADEMIEI ROMÂNE

Scanned with OKEN Scanner

Copyright © 1997, Editura Academiei Române.
Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate editurii.

ISBN 973-27-0575-2

EDITURA ACADEMIEI ROMÂNE
R 76117, București, Calea 13 Septembrie nr.13, Sector 5

Scanned with OKEN Scanner

Conf. dr. ing. IOAN SÂRBU

OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI

EDITURA ACADEMIEI ROMÂNE
BUCUREȘTI, 1997

Scanned with OKEN Scanner

Familiei mele, ce mi-a transmis mesajul puterii sale de a socoti viața un dar pentru care merită să lupți până la capătul zilelor și chiar dincolo...

Scanned with OKEN Scanner

PREFAȚĂ

Tehnica alimentărilor cu apă cunoaşte atât pe plan mondial cât şi în ţara noastră o dezvoltare şi o perfecţionare continuă. Sistemele complexe de alimentare cu apă, destinate deservirii centralizate a centrelor urbane, intervin în bilanţul energetic global prin consumul direct de energie necesar satisfacerii exigenţelor cantitative şi calitative ale utilizatorilor.

Sub aspect tehnic, eficienţa funcţională, energetică şi economică este condiţionată de o multitudine de factori privind calitatea soluţiilor proiectate, a materialelor şi echipamentelor utilizate, calitatea execuţiei şi, nu în ultimă instanţă, condiţiile de exploatare.

Realizarea unui sistem de alimentare cu apă, la care consumul de energie să fie minim, iar cheltuielile de investiţie şi exploatare să fie reduse, conduce la micşorarea în ansamblu a tarifelor pentru apa livrată utilizatorilor şi influenţează favorabil costul produselor industriale şi agricole. Reducerea consumului de energie este determinată în special de dimensionarea şi exploatarea optimală a sistemelor de distribuţie.

În raport cu aceste consideraţii şi ţinând seama de conjunctura economică generală, optimizarea energetică a sistemelor de distribuţie a apei constituie o problemă necesară şi oportună, de actualitate şi de perspectivă, determinantă.

În acest context, autorul a întreprins numeroase studii şi cercetări pe problematica menţionată, pe care le-a sistematizat şi dezvoltat judicios în lucrarea de faţă. Problemele tratate au o importanţă ştiinţifică şi practică deosebită, având în vedere că etapa actuală de transformare a economiei, în scopul funcţionării pe principii noi, influenţează asupra lucrărilor de alimentare cu apă sub mai multe aspecte, în majoritate reflectate în valoroasa lucrare elaborată de autor:

– gradul de siguranţă în funcţionarea sistemelor trebuie să crească datorită sporirii exigenţei consumatorilor asupra calităţii apei primite şi a regimului de furnizare a acesteia;

– sistemele de alimentare cu apă vor trebui reanalizate în totalitate din punct de vedere al componenţei, mărimii obiectelor, fiabilităţii în func-

Scanned with OKEN Scanner

ţionare datorită creşterii nivelului de trai al locuitorilor care va conduce la sporirea nivelului de dotare cu instalaţii sanitare, deci a necesarului de apă;

– resursele de apă relativ scăzute şi costul mare al energiei impun o exploatare cât mai economicoasă a tuturor elementelor componente ale sistemului;

– modernizarea şi supravegherea automată a sistemelor existente nu se poate realiza fără reconsiderarea alcătuirii actualelor sisteme.

Prin conţinut şi manieră de abordare lucrarea reprezintă o noutate la noi în ţară, iar prin unitatea şi sistematizarea problemelor pe care le conţine, referirea este valabilă chiar la întreaga literatură de specialitate; ea se bazează pe un vast material bibliografic, întregit cu multe lucrări originale ale autorului, fiind axată pe următoarele categorii de probleme, intercondiţionate în contextul tematicii abordate:

– analiza structurii consumurilor energetice şi a soluţiilor posibile pentru diminuarea acestora prin măsuri conceptuale, constructive şi organizatorice;

– promovarea unor noi procedee şi metode pentru optimizarea funcţional-energetică a sistemelor de alimentare cu apă;

– dezvoltarea şi perfecţionarea metodelor şi modelelor pentru calculul şi analiza sistemelor de distribuţie a apei;

– elaborarea unui instrument de calcul informatizat pentru aplicarea soluţiilor prezentate.

Tratarea pe parcursul a şase capitole a problemelor optimizării sistemelor de distribuţie a apei se face utilizând un aparat matematic modern şi adecvat (programare matematică, teoria grafurilor, calcul matriceal), iar cercetările sunt de natură complexă, pluridisciplinară. Conţinutul este echilibrat în comparaţie cu multitudinea problemelor pe care le presupune alcătuirea, proiectarea, exploatarea şi restructurarea sistemelor de distribuţie a apei şi se situează la un nivel ştiinţific elevat. Redactarea într-un limbaj tehnic adecvat, cu un stil cursiv şi într-un mod deosebit de clar şi concis, precum şi înlănţuirea logică a ideilor contribuie la facilitarea urmăririi întregii lucrări.

Contribuţiile originale referitoare la elaborarea unor programe de analiză şi simulare numerică, prezentarea unor modele şi metode noi de calcul pentru sistemele complexe de distribuţie a apei, cât şi pentru optimizarea lor structurală şi funcţională, reprezintă o valoare ştiinţifică certă.

Analiza globală a nivelului rezolvărilor din modelele matematice pentru calculul sistemelor complexe de distribuţie a apei, în comparaţie cu stadiul actual pe plan mondial, aşa cum rezultă din literatura tehnică de specialitate, permite a se trage concluzia că acestea împreună cu programele ordinatoare

Scanned with OKEN Scanner

corespunzătoare se găsesc la nivelul realizărilor similare dintre cele mai avansate, iar unele dintre soluţiile adoptate în lucrare reprezintă rezolvări ce nu au corespondent în alte ţări.

La reuşita lucrării a contribuit în mare măsură experienţa acumulată de autor în activitatea didactică şi în special în îndelungata şi susţinuta activitate de cercetare ştiinţifică în domeniul abordat.

De menţionat că editarea unei astfel de cărţi este deosebit de utilă, iar iniţiativa publicării ei merită a fi remarcată. Îl felicit pe d-nul conf.dr.ing. Ioan Sârbu pentru lucrarea sa şi îi doresc noi succese în rezolvarea problemelor inginereşti pe care şi le pune.

Actualitatea şi diversitatea problemelor tratate, nivelul ştiinţific ridicat, ordinea şi rigurozitatea prezentării constituie tot atâtea argumente care recomandă această carte, în primul rând inginerilor, cercetătorilor, proiectanţilor, doctoranzilor şi altor specialişti din domeniul hidroedilitar, fiind însă utilă şi accesibilă şi studenţilor de la facultăţile de profil.

prof. dr. ing. CORNEL JURA

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

1. INTRODUCERE 15
   1.1. Obiectul şi conţinutul lucrării 15
   1.2. Evoluţia concepţiei şi realizării sistemelor de alimentare cu apă 18
   1.3. Direcţii actuale de acţiune în domeniul alimentărilor cu apă 22

2. DIRECŢII GENERALE DE REDUCERE A CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN SISTEM 25
   2.1. Consideraţii preliminare 25
   2.2. Adoptarea schemei sistemului de alimentare cu apă 25
   2.3. Stabilirea cerinţelor specifice cantitative şi calitative 26
   2.4. Separarea alimentării cu apă potabilă şi industrială a centrelor urbane 27
   2.5. Posibilităţi şi măsuri de reducere a consumului de energie electrică al staţiilor de tratare a apelor de alimentare 29
   2.6. Gospodărirea raţională a apei la utilizatori 31
   2.7. Optimizarea energetică a sistemelor de distribuţie a apei 32

3. OPTIMIZAREA CALCULULUI REŢELELOR DE DISTRIBUŢIE A APEI 33
   3.1. Consideraţii preliminare 33
   3.2. Indici specifici de cost şi energetici pentru realizarea reţelelor de distribuţie 33
      3.2.1. Indici de cost 33
      3.2.2. Indici energetici 35
   3.3. Probleme fundamentale ale calculului hidraulic optimal al reţelelor inelare 37
      3.3.1. Bazele calculului hidraulic în regim permanent de curgere a apei 37
      3.3.2. Relaţia funcţională pierdere de sarcină – debit în conducte cu debit constant 39
      3.3.3. Generalizarea relaţiei funcţionale pentru conducte cu consum uniform distribuit 43

Scanned with OKEN Scanner

3.3.4. Procedee de transformare a grafului asociat reţelelor inelare 44
3.3.5. Criterii de optimizare a dimensionării reţelelor de distribuţie 46
3.4. Analiza reţelelor inelare complexe de distribuţie a apei 50
3.4.1. Generalităţi 50
3.4.2. Metoda ciclurilor 51
3.4.2.1. Principiile metodei 51
3.4.2.2. Procedeul iteraţiilor simple (Lobacev) 52
3.4.2.3. Procedeul iteraţiilor cu transmiteri (Hardy-Cross) 53
3.4.2.4. Perfecţionarea procedeului clasic de analiză ciclică 54
3.4.2.5. Model de analiză ciclică în formulare variaţională 60
3.4.3. Metoda nodurilor 62
3.4.3.1. Principiul metodei 62
3.4.3.2. Algoritmul Newton-Raphson 63
3.4.3.3. Model de analiză nodală a reţelelor inelare 64
3.4.3.4. Formularea variaţională a analizei nodale 68
3.4.4. Metoda tronsoanelor 69
3.4.4.1. Principiul metodei 69
3.4.4.2. Modelul „conţinut" de analiză pe tronsoane 69
3.4.5. Aplicaţii numerice 70
3.4.6. Concluzii 77
3.5. Proiectarea optimală a reţelelor complexe de distribuţie a apei 78
3.5.1. Generalităţi 78
3.5.2. Model de optimizare a traseului reţelelor ramificate . 79
3.5.2.1. Determinarea grafului parţial al arborilor minimi 80
3.5.2.2. Generarea arborilor minimi 80
3.5.3. Optimizarea repartiţiei debitelor de tranzit în reţelele inelare 81
3.5.3.1. Necesitatea optimizării repartiţiei debitelor de tranzit 81
3.5.3.2. Modele de calcul al repartiţiei optime a debitelor de tranzit 82
3.5.3.3 Exponentul optim al funcţiei obiectiv de optimizare a debitelor de tranzit 84
3.5.4. Modele de optimizare a dimensionării reţelelor inelare 87
3.5.4.1. Generalităţi 87
3.5.4.2. Reformularea modelului de optimizare Moşnin 88
3.5.4.3. Model de optimizare neliniară 93
3.5.4.4. Model de optimizare liniară 97

Scanned with OKEN Scanner

3.5.5. Aplicații numerice 102
3.5.6. Concluzii 114
3.6. Aspecte hidraulice ale funcționării îndelungate a conductelor cu implicații asupra consumului de energie din rețea 115
3.6.1. Generalități 115
3.6.2. Evaluarea comportării în timp a conductelor 116
3.6.3. Implicații ale creșterii rugozității conductelor în exploatare 120
3.6.4. Aplicație numerică 120
3.6.5. Concluzii 121

4. OPTIMIZAREA FUNCȚIONAL–ENERGETICĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI 123
4.1. Probleme energetico-economice ale distribuției apei 123
4.2. Fiabilitatea sistemelor de distribuție 123
4.2.1. Probleme de fiabilitate generală a sistemului de alimentare cu apă 123
4.2.2. Creșterea siguranței funcționării sistemelor de distribuție 125
4.3. Optimizarea energetică a instalațiilor de pompare 129
4.3.1. Analiza tehnico-economică comparativă a instalațiilor de pompare 129
4.3.2. Distribuția optimă a debitelor între pompe funcționând în cuplaj paralel 130
4.3.3. Analiza energetică a funcționării pompelor în rețea 131
4.3.4. Soluții pentru reducerea consumului de energie 135
4.3.5. Analiza energetică comparativă a funcționării unei stații de pompare 141
4.4. Separarea rețelelor de distribuție pe zone de presiune a apei 143
4.4.1. Procedee de zonare 143
4.4.2. Particularitățile zonării în serie 144
4.4.3. Particularitățile zonării în paralel 145
4.4.4. Eficiența energetico-economică a procedeelor de zonare 145
4.4.5. Exemplificări numerice ale evaluării energetice și economice a procedeelor de zonare 147
4.5. Utilizarea de elemente potențiale interioare 149
4.5.1. Generalități 149
4.5.2. Procedee de optimizare structurală și funcțională cu elemente potențiale interioare 150
4.5.2.1. Folosirea rezervoarelor subterane zonale și a stațiilor de repompare interioare 151
4.5.2.2. Integrarea stațiilor intermediare de pompare pe artere 156
4.5.2.3. Amenajarea castelelor de apă 159

Scanned with OKEN Scanner

4.5.3. Principii de bază pentru dezvoltarea structurală a sistemelor de distribuţie cu elemente potenţiale interioare 163
4.5.4. Eficienţa economică a procedeelor de distribuţie 163
4.5.5. Exemplificări numerice ale aplicării procedeelor de optimizare funcţională a distribuţiei 165
4.6. Optimizarea condiţiilor energetice ale distribuţiei apei calde în sistem 171
4.6.1. Generalităţi 171
4.6.2. Evaluarea consumului de energie pentru procesul complet al distribuţiei apei la utilizatori 172
4.6.3. Descrierea soluţiei de distribuţie optimizată 174
4.7. Soluţii pentru reducerea consumului de energie în instalaţiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit 175
4.7.1. Raţionalizarea consumurilor de apă 176
4.7.2. Perfecţionarea armăturilor obiectelor sanitare 178
4.7.3. Protecţia instalaţiei împotriva loviturii de berbec ... 180
4.7.4. Promovarea procedeelor de preparare locală a apei calde de consum menajer 181
4.7.5. Recircularea apei calde de consum 186
4.7.6. Utilizarea ţevilor din materiale plastice 188
4.8. Concluzii 192

5. PROBLEME SPECIALE ÎN EXPLOATAREA SISTEMELOR DE DISTRIBUŢIE A APEI 195
5.1. Consideraţii preliminare 195
5.2. Analiza şi clasificarea avariilor ce apar la conductele reţelelor exterioare 196
5.2.1. Avarii la conductele din fontă de presiune 196
5.2.2. Avarii la conductele din oţel 197
5.2.3. Avarii la conductele din azbociment 198
5.2.4. Avarii la conductele din beton armat precomprimat . 199
5.3. Model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate 204
5.4. Analiza şi evaluarea pierderilor şi risipei de apă în reţele exterioare şi instalaţii interioare 206
5.5. Măsuri pentru reducerea pierderilor şi risipei de apă 213
5.6. Aplicarea contorizării în sistemele de distribuţie a apei 216
5.6.1. Generalităţi 216
5.6.2. Condiţii de montare şi criterii de alegere a contoarelor (apometrelor) 217
5.6.3. Tipuri constructive de contoare 218
5.6.4. Contoare moderne tip Zenner 220
5.6.5. Contorizarea şi urmărirea centralizată a consumurilor de apă 222

Scanned with OKEN Scanner

5.7. Măsuri de prevenire a contaminării apei potabile în instalaţiile de distribuţie 224

6. PACHET DE PROGRAME ORDINATOARE 227
6.1. Consideraţii preliminare 227
6.2. PARELF – Calculul variaţiei parametrilor hidraulici λ_*, β ai relaţiei funcţionale a conductelor 229
6.3. ACIRECS şi ACIREC – Analiza ciclică a reţelelor în formulare clasică standard şi perfecţionată 231
6.4. ACIREV – Analiza ciclică a reţelelor în formulare variaţională 233
6.5. ANOREC – Analiza nodală a reţelelor inelare în formulare clasică 233
6.6. ANOREV – Analiza nodală a reţelelor inelare în formulare variaţională 236
6.7. OTREDIRA – Optimizarea traseului reţelelor ramificate .. 239
6.8. REOPDERA – Studiul optimizării repartiţiei debitelor de tranzit în reţele inelare 240
6.9. DIOPREDA – Dimensionarea reţelelor cu modelul de optimizare Moşnin 243
6.10. OPNELIRA – Dimensionarea reţelelor cu modelul de optimizare neliniară 245
6.11. OPLIRA – Dimensionarea reţelelor cu modelul de optimizare liniară 247
6.12. AMPORIN – Determinarea amplasamentului optim al unui rezervor zonal 249

BIBLIOGRAFIE 252

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1. OBIECTUL ŞI CONŢINUTUL LUCRĂRII

Apa şi energia au devenit vectorii esenţiali ai existenţei societăţii umane şi ai oricăror activităţi economico-sociale. Rolul apei, de-o primordială importanţă, este dovedit de faptul că primele forme de viaţă au luat naştere în mediul acvatic, că primele aşezări omeneşti s-au dezvoltat în apropierea râurilor, fluviilor şi lacurilor, că apa constituie mediul în care se desfăşoară toate procesele metabolice, că ţesuturile şi organele tuturor vieţuitoarelor conţin, într-o mare proporţie, apă.

Astfel, apa potabilă este necesară atât vieţii omului, cât şi animalelor şi plantelor. Fără apă potabilă productivitatea muncii şi producţia scad, iar consumarea unei ape necorespunzătoare duce la îmbolnăvirea oamenilor şi a animalelor.

Asigurarea condiţiilor igienico-sanitare şi de confort din clădirile de locuit şi social-culturale sunt legate, printre altele, şi de proiectarea, executarea şi exploatarea corespunzătoare a sistemului de alimentare cu apă.

Cunoaşterea detaliată şi în profunzime a problemelor lucrărilor de alimentare cu apă permite o ierarhizare a acestora în funcţie de efortul material sau energetic, necesar pentru execuţie şi exploatare.

Ca urmare a tendinţelor de creştere a consumului specific de apă, indicator al gradului de înzestrare şi de confort, al dezvoltării şi modernizării în timp a centrelor populate şi a industriei, sistemul centralizat de alimentare cu apă trebuie amplificat de la o etapă la alta cu scopul de a face faţă cerinţelor mereu crescânde de apă.

Volumul de apă asigurat utilizatorilor include o mare cantitate de energie necesară pentru tratare, distribuţie şi diferite procese tehnologice interne ale sistemului de alimentare cu apă. Pe de altă parte pe plan naţional există încă multă risipă de apă potabilă şi industrială, la care se adaugă pierderile de apă în reţele şi în special în instalaţiile interioare, ceea ce ridică considerabil consumul de energie în sistem. Astfel, consumul de energie pentru

Scanned with OKEN Scanner

exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă reprezintă cca 5 % din consumul total de energie a ţării, constituind o cotă apreciabilă, dat fiind faptul că iluminatul public, spre exemplu, nu consumă decât 0.34 %.

În exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă cca 90 % din energie este electrică, din care o pondere însemnată, de peste 80 %, o deţine distribuţia apei în reţelele mari, echipate exclusiv cu staţii exterioare de pompare, ce încarcă mult sistemul energetic naţional atât în orele de consum mediu cât mai ales în orele de vârf.

În condiţiile realizării distribuţiei apei la utilizatorii marilor oraşe industriale prin procedee clasice, presiunile disponibile sunt foarte mari în nodurile de consum periferice, în care de obicei sunt necesare presiuni mai reduse, în timp ce în zonele centrale ale reţelei se înregistrează presiuni insuficiente. De asemenea, creşterea continuă a necesarului de apă caldă cu un program de distribuţie redus (6...8 ore/zi) creează oscilaţii foarte mari ale necesarului orar de apă, astfel încât în lipsa funcţiei compensatoare de reţea staţiile de pompare exterioare necesită puteri instalate sporite.

Aceste dezavantaje sunt amplificate de suprapunerea orelor de vârf pentru necesarul de apă, căldură şi energie electrică, contribuind la creşteri însemnate ale consumului energetic în exploatare.

În acest context, problema foarte actuală, atât pe plan intern cât şi pe plan mondial, a economiei de energie îşi găseşte un ecou larg şi în domeniul alimentărilor cu apă potabilă şi industrială, iar lucrarea elaborată se înscrie în preocupările existente cu privire la reducerea consumului de energie şi a pierderilor de apă în sistemele de distribuţie a apei, a cărei importanţă este în continuă creştere în perspectivă.

Lucrarea de faţă îşi propune să sistematizeze şi să prezinte într-o manieră unitară rezultatele unei susţinute activităţi de cercetare ştiinţifică privind optimizarea instalaţiilor centralizate de distribuţie a apei în scopul reducerii consumului de energie electrică, care în conjunctura economică şi energetică generală a devenit o problemă majoră, necesară şi oportună, implicând, pe de o parte, optimizarea funcţional-energetică a sistemului de distribuţie a apei atât pentru sistemele noi cât şi pentru cele aflate în exploatare, iar, pe de altă parte, elaborarea unor modele şi programe de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză şi de proiectare a reţelelor de distribuţie, la care se adaugă găsirea de măsuri şi soluţii pentru reducerea substanţială a pierderilor şi risipei de apă din sistem. Aceste obiective principale ale lucrării sunt tratate pe parcursul a şase capitole.

După un prim capitol introductiv, în capitolul 2 se formulează câteva direcţii şi soluţii generale care trebuie avute în vedere la conceperea unui sistem centralizat de alimentare cu apă pentru a asigura reducerea consumurilor de energie electrică.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 3 este destinat prezentării unor modele de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză funcţională şi de proiectare a reţelelor complexe de distribuţie a apei, dată fiind ponderea însemnată a acestora în cadrul sistemului de alimentare atât prin amploarea investiţiei cât şi a consumului de energie. Se descriu modele de analiză ciclică şi nodală, atât în formulare clasică cât şi variaţională, pentru determinarea regimului debitelor şi presiunilor în reţele inelare; se concepe un algoritm de optimizare a traseului reţelelor ramificate de conducte; se formulează modele de calcul optimal al repartiţiei debitelor de tranzit în reţelele inelare şi se elaborează câte un model de optimizare neliniară şi respectiv liniară pentru dimensionarea reţelelor de distribuţie, având la bază o funcţie obiectiv complexă de formă generală care permite a se ţine seama şi de alte criterii decât cele de cost. Modelul liniar oferă şi posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit, în speţă la reţelele de serviciu. Se evidenţiază performanţele modelelor de calcul elaborate prin analize numerice comparative. Se prezintă unele aspecte hidraulice ale funcţionării îndelungate a conductelor cu implicaţii asupra consumului energetic.

Capitolul 4 se referă la optimizarea structurală şi funcţională din punct de vedere energetic a sistemelor de distribuţie a apei. Se realizează analiza şi descrierea de soluţii pentru optimizarea funcţională a pompelor în sistemele de distribuţie, prezentându-se în acest scop şi un sistem de automatizare cu echipament electronic. Se prezintă o nouă concepţie în dezvoltarea structurală a sistemelor de distribuţie care să conducă la optimizarea energetică a funcţionării acestora în condiţii de eficienţă economică, precizându-se principiile fundamentale ce stau la baza dezvoltării structurii optime a sistemelor respective. Se concepe un model matematic pentru calculul amplasamentului optim al unui rezervor integrat pe o magistrală de distribuţie. Se efectuează exemplificări numerice ale procedeelor de optimizare descrise. Se prezintă soluţii pentru optimizarea condiţiilor energetice de distribuţie a apei calde menajere în sistemele de alimentare cu apă, precum şi soluţii de reducere a consumului de energie în instalaţiile interioare din clădirile de locuit.

Capitolul 5 prezintă rezultatele unui studiu privind avariile şi pierderile de apă în sistemele de distribuţie. Se sistematizează principalele avarii care apar la conductele reţelelor exterioare de distribuţie a apei în localităţi, se clasifică acestea în funcţie de natura materialului de confecţionare a conductelor şi se prezintă un model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate. Se evaluează pierderile şi risipa de apă în instalaţiile interioare ale utilizatorilor şi se recomandă măsuri pentru

Scanned with OKEN Scanner

reducerea substanţială a acestora. De asemenea, se fac unele precizări privind aplicarea contorizării în sistemele de distribuţie a apei, precum şi asupra principalelor măsuri de prevenire a contaminării apei potabile în instalaţiile de distribuţie.

Capitolul 6 descrie un pachet de 12 programe de calcul, realizate pe baza algoritmilor dezvoltaţi în capitolele 3 şi 4, în limbaj FORTRAN, care este în prezent singurul acceptat de firmele cu renume producătoare de software, pentru scrierea bibliotecilor matematice şi programarea aplicaţiilor de calcul tehnic şi ştiinţific cu importanţă deosebită.

Având în vedere scopul aplicativ, lucrarea cuprinde şi o serie de exemple şi aplicaţii numerice pentru o diversitate de probleme ce sunt întâlnite în practică, care facilitează înţelegerea prezentării teoretice, şi descrie un număr însemnat de programe ordinatoare originale implementate pe microcalculatoare de tip IBM-PC, utilizate tot mai mult la noi în ţară, constituindu-se într-un preţios instrument de lucru în activitatea didactică, precum şi în cercetare, proiectare şi exploatare.

Autorul îşi exprimă profunda recunoştinţă d-lui prof. dr. ing. Cornel Jura, care deseori l-a determinat să valorifice activitatea inginerească şi prin scris, fie că a fost vorba de o dizertaţie de doctorat, fie de comunicări ştiinţifice, invenţii sau inovaţii, şi a avut amabilitatea să redacteze prefaţa acestei lucrări.

1.2. EVOLUŢIA CONCEPŢIEI ŞI REALIZĂRII SISTEMELOR DE ALIMENTARE CU APĂ

Evoluţia concepţiei şi realizării sistemelor centralizate de alimentare cu apă (fig. 1.1) în ţara noastră a urmărit, în general, dezvoltarea economică şi socială a ţării.

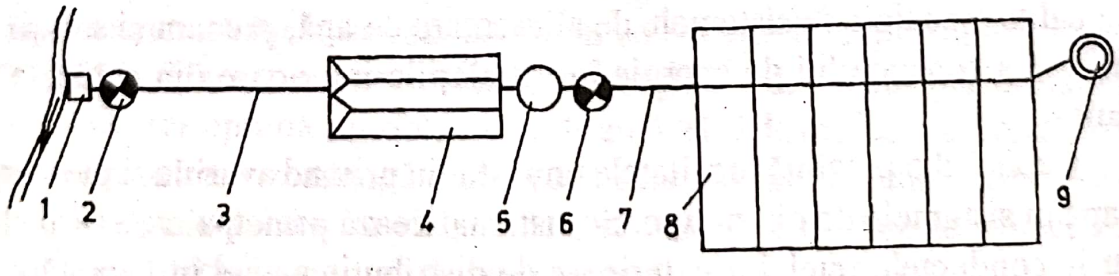


Fig. 1.1. – Schema de principiu a unui sistem centralizat de alimentare cu apă: 1–captare; 2–pompare treapta I; 3–aducţiune; 4–tratare; 5–rezervor de apă tratată; 6–pompare treapta II; 7–conductă principală de distribuţie; 8–reţea de distribuţie; 9–rezervor de compensare.

Scanned with OKEN Scanner

În România beneficiază de sisteme centralizate de alimentare cu apă 2 320 localităţi, din care 260 municipii şi oraşe, ceea ce corespunde unei populaţii de 13,7 milioane locuitori; lungimea reţelei de distribuţie este de cca 29 300 km (19 650 km în municipii şi oraşe) şi livrează o cantitate de 2 548,6 milioane m^3/an, din care pentru populaţie, 1162,9 milioane m^3/an.

Dezvoltarea industriei şi creşterea populaţiei, precum şi urbanizarea localităţilor au generat creşterea substanţială a debitelor de apă potabilă şi industrială, acestea reprezentând la nivelul anului 1990 aproximativ 55 % din cerinţele de apă ale tuturor folosinţelor de pe teritoriul ţării.

Nivelul de consum înregistrat reprezintă foarte mult în comparaţie cu resursele existente şi în raport cu numărul populaţiei şi a gradului de dezvoltare industrială. Trebuie subliniat că actualele consumuri de apă reflectă atât procesul obiectiv al creşterii numărului utilizatorilor, dar şi modul neeconomicos în care se gospodăreşte în unele sectoare cât şi de către populaţie această resursă naturală, nu îndeajuns de preţuită în prezent.

Pe măsura sporirii cantităţilor de apă necesare, a cunoaşterii mai aprofundate a resurselor de apă subterană şi de suprafaţă ale ţării şi o dată cu creşterea capacităţii de elaborare a documentaţiilor economice au fost promovate unele concepţii noi privind soluţiile tehnologice şi constructive.

Astfel, de la alimentarea cu apă potabilă în marea majoritate din surse subterane relativ modeste, s-a trecut la utilizarea complexă a surselor subterane de mare capacitate şi a surselor de suprafaţă din râuri şi mai ales din lacuri de acumulare nou construite.

Totodată au fost realizate în unele zone ale ţării sisteme regionale de alimentare cu apă, evidenţiindu-se în acest sens sistemele: Izvarna–Craiova, în lungime de cca 115 km (apă de izvor); Timişeşti–Iaşi, în lungime de 105 km (apă subterană); Sebeş–Alba–Ocna Mureş, în lungime de 100 km (apă de suprafaţă din râul Sebeş); Comăneşti–Borzeşti (apă de suprafaţă din lacul de acumulare Poiana Uzului) şi altele.

În numeroase cazuri, unităţile consumatoare de apă se amplasează la distanţe relativ mari faţă de sursele de apă corespunzătoare calitativ şi cantitativ, înmulţindu-se situaţiile când se impun conducte lungi de aducţiune.

Deşi industriile republicane importante, electrotermocentralele, uzinele siderurgice, combinatele petrochimice folosesc apa direct de la sursa lângă care de obicei sunt amplasate, cea mai mare parte din industria centrelor urbane utilizează apa din sistemul centralizat de alimentare cu apă potabilă.

Având în vedere creşterea deosebit de mare a necesarului de apă industrială, într-o perioadă relativ scurtă, se impun măsuri pentru recircularea şi refolosirea apei în procesul tehnologic într-un grad mult mai mare decât în perioada actuală. De asemenea, întrucât alimentarea cu apă tehnologică a unor astfel de industrii pune adeseori probleme complicate din punct de vedere al consumului la utilizatori, se impune atât analiza sistematică a regimului de debite şi presiuni din sistem, cât şi simularea numerică a consumului de apă al utilizatorilor, printr-un sistem centralizat de programare

Scanned with OKEN Scanner

şi urmărire pe calculator [218], eliminând risipa de apă, crescând siguranţa în funcţionare şi economisind cantităţi însemnate de energie electrică.

Volumul din ce în ce mai mare al lucrărilor de alimentare cu apă, în special dezvoltarea sistemelor de transport şi distribuţie din oraşe, a impus utilizarea unor materiale de execuţie care să satisfacă cerinţe tehnice, economice şi de siguranţă în exploatare.

Fără a constitui o limitare a activităţii de creaţie a specialiştilor, în proiectarea şi execuţia reţelelor de distribuţie a apei au apărut tipizări şi normative privind fabricarea conductelor, care se referă la: diametre, regim de presiune, material de fabricaţie, condiţii de rugozitate la interior, sistem de îmbinare etc.

Dacă până aproximativ acum o jumătate de secol, pe plan mondial, ca regulă generală se foloseau tuburile din fontă, şi ca excepţie tuburile din oţel şi uneori tuburile din azbociment, tehnica modernă pune la dispoziţie o gamă variată de materiale, sisteme de îmbinare şi mijloace de protecţie, ceea ce face ca problema alegerii materialului să nu fie prea simplă.

Pentru economia de energie, la alegerea materialului conductelor, trebuie să se ţină seama de calităţile terenului, calitatea apei transportate, presiunea de serviciu, rezerva internă de materii prime, dar şi de consumurile specifice echivalente de energie electrică şi combustibil care intervin la fabricarea şi punerea în operă a diferitelor tipuri de conducte. Astfel, există ţări în care predomină utilizarea fontei (Franţa, SUA) sau a oţelului (Belgia, Anglia), după care a apărut folosirea pe scară tot mai largă a conductelor din beton armat precomprimat (Suedia), azbociment (Italia) şi, mai nou, din materiale plastice (Olanda, Austria, Italia).

În ţara noastră, în prima etapă de dezvoltare a sistemelor centralizate de alimentare cu apă s-au utilizat cu precădere conductele din fontă (Sibiu–74 %, Craiova–46 %, Timişoara–35 %). La primele lucrări executate în deceniul al şaselea s-a recurs la soluţii improvizate constând din conducte de beton armat cu diametrul de 600...800 mm, turnate pe şantier, cu căptuşeală interioară din tablă de oţel de 2...6 mm, şi ţevi de oţel cu perete gros.

Treptat producţia internă s-a diversificat fabricând tuburi din azbociment, din beton armat precomprimat (PREMO) pentru diametre până la 1500 mm şi presiuni de lucru de 10 bar, tuburi din policlorură de vinil (PVC), ţevi din oţel sudate pe generatoare şi elicoidal pentru diametre mari (400...1000 mm).

În prezent, cei 29 300 km reţele de distribuţie a apei de la noi din ţară sunt constituiţi din conducte din diverse materiale, în următoarele proporţii: 40 % – azbociment; 27% – oţel; 20 % – fontă; 11 % – beton armat; 2 % –PVC.

Conductele din beton armat au fost folosite într-o proporţie mai mare în oraşe ca: Oradea (19 %), Arad (17 %), Timişoara (13 %).

Scanned with OKEN Scanner

Se impune utilizarea conductelor din beton armat pentru diametre mari şi în cazuri speciale (presiuni mari, terenuri sensibile) a conductelor din fontă, iar pentru diametre medii şi mici se pot folosi tuburile din PVC sau alte materiale plastice, utilizate în ţări cu tehnologii avansate.

Cu un viitor cert şi în ţara noastră, tubulatura din polietilenă de înaltă densitate (PE-HD) pentru reţele de alimentare cu apă, produsă de firmele UNIDELTA din Italia, WAVIN din Olanda şi POLITUB din România, câştigă teren pas cu pas în faţa soluţiilor tradiţionale (oţel, fontă etc.), detaşându-se net de acestea prin performanţele notabile legate de montare, deosebit de sigură şi rapidă, cât şi de exploatare, garantată de producători pentru o perioadă de cel puţin 50 ani.

Clasele de presiune în care se produc tuburile de PE-HD sunt de 6, 10 şi 16 bar pentru reţelele de distribuţie a apei. Livrarea tuburilor cu diametre exterioare de 12...110 mm se realizează în bare de 6, 8 şi 12 m şi în colaci de 50 sau 100 m, iar a.celor cu diametre cuprinse între 110 şi 630 mm, numai în bare de 6, 8 şi 12 m.

Diagrama pentru determinarea pierderilor de presiune Δp în conductele reţelelor de distribuţie din PE-HD, clasa de presiune Pn 6, este redată în figura 1.2.

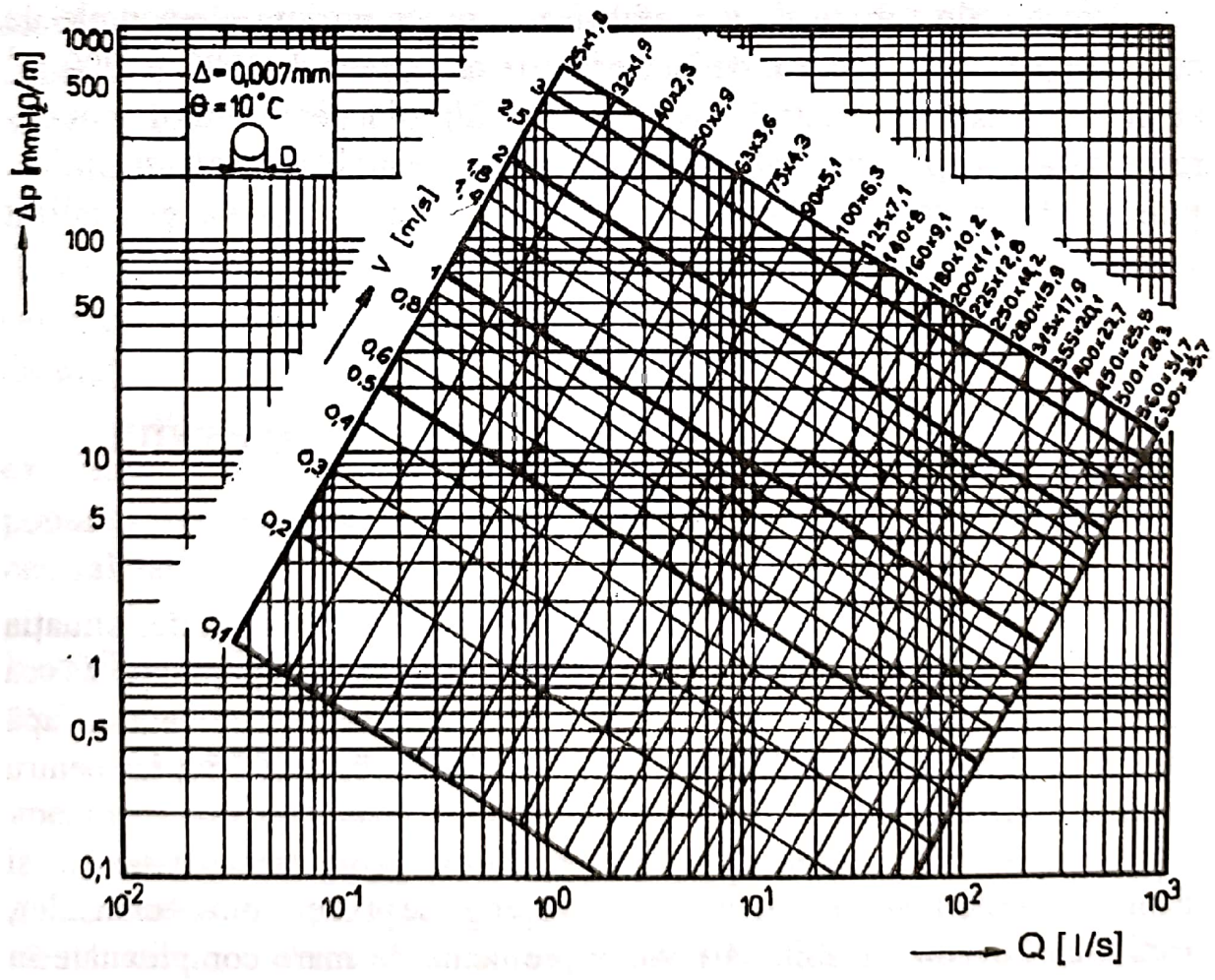


Fig. 1.2 – Diagrama de calcul a conductelor din PE-HD.

Proprietăţile materialului care intră în componenţa tuburilor, cât şi tehnologia de fabricaţie în general a tuturor reperelor ce alcătuiesc o reţea de apă conferă acestora calităţi deosebite, sintetizate astfel:

– flexibilitate bună şi greutate redusă;
– elimină riscul depunerilor pe lungimea traseelor, datorită elasticităţii;
– facilităţi de îmbinare care garantează o bună ţinută în exploatare;
– pierderi de sarcină specifice minime;
– insensibilitate la acţiune a microorganismelor;
– rezistenţă la îngheţ;
– nu necesită izolaţie şi nici alte condiţii speciale de montaj în teren;
– rezistenţă la coroziune şi solicitări mecanice;
– cost de instalare diminuat în raport cu cel al tuburilor din oţel sau fontă şi o întreţinere uşoară.

Tuburile din PE-HD se pot monta în teren la rece cu fitinguri, prin înfiletare sau prin două procedee de sudare: *cap la cap*, metodă utilizată în special în cazul lucrărilor cu conducte de diametre mari livrate în bare de până la 12 m, sau *prin manşoane termoelectrice* (polifuziune), recomandabilă în cazul în care livrarea tuburilor se face în role de 50 sau 100 m.

Încercările timide de a prefabrica şi precomprima elementele de construcţie ale rezervoarelor de înmagazinare cu volume de 1000...5000 m^3 au fost intensificate, astfel încât construcţiile din beton armat monolit reprezintă excepţii ce apar doar datorită unor condiţii locale specifice. Execuţia lucrărilor prin glisare şi din elemente prefabricate s-a generalizat şi la castelele de apă.

1.3. DIRECŢII ACTUALE DE ACŢIUNE ÎN DOMENIUL ALIMENTĂRILOR CU APĂ

Se poate aprecia că în ciuda tuturor realizărilor obţinute, situaţia alimentării cu apă la noi în ţară este destul de dificilă. La o populaţie de cca 23 milioane de locuitori, beneficiază de alimentare centralizată cu apă numai 13,7 milioane, din care pentru localităţi urbane, 80 %, iar pentru localităţi rurale, 20 %.

Rezultă, de asemenea, că în cercetarea, proiectarea, execuţia şi exploatarea acestor sisteme s-au înregistrat progrese prin efortul specialiştilor, care s-au dovedit capabili să rezolve probleme de mare complexitate în domeniu. Astfel în anul 1989 erau realizate instalaţii de captare, tratare,

Scanned with OKEN Scanner

transport şi distribuţie pentru aproximativ 115...120 m^3/s de apă pe întreaga ţară. Realizarea însă a acestor instalaţii, cu mici excepţii, s-a făcut având în vedere orientarea greşită în ansamblul economiei naţionale, în condiţiile unor fonduri destinate gospodăriei comunale mult sub nivelul cerinţelor secolului actual.

De aceea se asistă la o degradare a conductelor şi instalaţiilor şi la un procent ridicat al pierderilor de apă în instalaţii (20...50 % din consumul total), în special în sistemul de distribuţie, determinând în mod implicit o mare risipă de energie.

O altă deficienţă este aceea a necorelării între cerinţele cantitative şi calitative de apă ale utilizatorilor şi capacitatea tehnologică de tratare şi distribuţie a instalaţiilor existente.

O situaţie destul de gravă este şi aceea că cei 13,7 milioane locuitori racordaţi la sisteme centralizate de preparare şi distribuţie a apei, cu foarte puţine excepţii, au un regim de alimentare cu intermitenţă. Cauzele acestui regim de funcţionare a sistemelor de alimentare cu apă sunt multiple, între care trebuie menţionate în mod special lipsa de coordonare între sistematizarea localităţilor şi dezvoltarea alimentării cu apă, prioritatea acordată alimentării cu apă a zonelor industriale în detrimentul zonelor populate şi chiar preluarea unor debite importante de apă de la populaţie pentru a fi utilizate în industrie.

În noua etapă în care a intrat România se impun unele acţiuni ca:

– aplicarea în prima fază a unor măsuri pentru reabilitarea sistemelor existente şi asigurarea unei activităţi corespunzatoare de servire a consumatorilor în contextul unui sistem bazat pe economia de piaţă;

– realizarea de noi sisteme de alimentare cu apă sau extinderea celor existente, astfel încât în circa 10...12 ani să fie racordată întreaga populaţie urbană şi aproximativ 60...70 % din populaţia rurală în sisteme centralizate;

– înfiinţarea unor întreprinderi de construcţii specializate în execuţia lucrărilor de alimentare cu apă, având în vedere condiţiile deosebite necesare realizării unor astfel de lucrări;

– îmbunătăţirea radicală a dotării laboratoarelor de control al calităţii apei distribuite cu reactivi, aparatură, materiale etc.;

– asigurarea unui grad maxim de siguranţă în funcţionarea sistemelor de alimentare cu apă, ceea ce presupune dublarea surselor, a magistralelor de aducţiune, a alimentării cu energie electrică, a asigurării capacităţii de înmagazinare;

Scanned with OKEN Scanner

– introducerea pe scară largă a automatizării şi dispecerizării în exploatarea sistemelor centralizate;

– contorizarea pe imobil, în prima fază, şi pe apartament, în perspectivă, a consumurilor de apă, care trebuie să se desfăşoare pe baza unor programe prioritare şi a unor reglementări unitare, la nivel naţional.

– optimizarea sistemelor de transport şi distribuţie a apei în scopul micşorării consumului de energie electrică şi a pierderilor de apă.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 2

DIRECŢII GENERALE DE REDUCERE A CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN SISTEM

2.1. CONSIDERAŢII PRELIMINARE

Obţinerea debitelor de apă necesare pentru satisfacerea utilizatorilor implică, în afara altor materiale, şi consumuri de energie care, în condiţiile actuale de gospodărire cât mai raţională a energiei, trebuie să fie cât mai reduse.

Experienţa de proiectare a sistemelor de alimentare cu apă precizează consumuri de energie electrică de 60...600 Wh/m^3 de apă tratată şi livrată consumatorilor. Limitele foarte largi ale intervalului menţionat indică marile disponibilităţi existente încă în concepţia de proiectare a sistemelor de alimentare cu apă în ceea ce priveşte asigurarea unor consumuri minime de energie electrică.

Desigur că în final consumul de energie electrică depinde de specificul sursei de alimentare cu apă, tehnologia de tratare adoptată, sistemul de asigurare a distribuţiei apei şi de modul de gospodărire a apei la utilizatori.

Ţinând seama că pentru a furniza unui utilizator 1 m^3 de apă se consumă în medie 0,5 kWh, estimând existenţa în ţara noastră a 1 000 de consumatori medii cu o putere de 400 kW şi considerând o funcţionare de 20 h/zi la toată capacitatea, consumul zilnic de energie este de 8 MWh, ceea ce reclamă arderea în centralele electrice a unui milion de tone de cărbune anual. Aceste aspecte impun cu necesitate acordarea unei atenţii corespunzătoare problemelor energetice în tehnica alimentărilor cu apă.

Se prezintă succint câteva soluţii şi direcţii generale care trebuie avute în vedere la conceperea unui sistem de alimentare cu apă şi care pot asigura reducerea consumurilor de energie electrică.

2.2. ADOPTAREA SCHEMEI SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU APĂ

Importantele cantităţi de energie electrică consumată în sistemele de alimentare cu apă sunt datorate în principal fazelor de pompare. Astfel, dacă

Scanned with OKEN Scanner

consumul de energie pe ansamblul unui sistem este de 500...600 Wh/m^3 de apă livrată, aproximativ 200...250 Wh/m^3 revine staţiei de tratare, iar restul, pompărilor. Dacă se ţine seama că şi în staţia de tratare consumul de energie este datorat tot pompărilor (de reactivi, apă de spălare etc.), se constată ponderea foarte mare a acestora în consumul de energie dintr-un sistem de alimentare cu apă.

Pe de altă parte, este cunoscut cazul unor sisteme de alimentare cu apă având ca sursă lacuri de acumulare, în care consumul de energie a atins valori mici, de 50...60 Wh/m^3 de apă livrată consumătorilor. De aici rezultă avantajul energetic pe care îl reprezintă concepţia de amenajare complexă a apelor, cu formarea de lacuri de acumulare şi de folosire a acestora ca sursă de alimentare cu apă. În afara eliminării unor faze de pompare, apar şi alte avantaje în această situaţie: mărirea gradului de asigurare a debitelor; posibilitatea adoptării unei scheme de tratare simplificate; exploatare mai uşoară.

2.3. STABILIREA CERINŢELOR SPECIFICE CANTITATIVE ŞI CALITATIVE

Accentuarea dificultăţilor tehnice şi economice legate de satisfacerea utilizatorilor de apă au impus şi impun în continuare efectuarea de studii pentru examinarea şi reactualizarea datelor privind cerinţele specifice de apă utilizată, în special în industrie, în vederea stabilirii unor valori cât mai raţionale, care să stea la baza normelor respective. În acest sens fostul ICPGA a efectuat cercetări de specialitate [262], rezultând în final o serie de valori utile scopului urmărit.

În urma analizării modului de gospodărire a apei în cadrul unor platforme industriale a rezultat o slabă dotare a întreprinderilor cu aparatură de măsurare a debitelor de apă vehiculate în cadrul lor şi o lipsă de preocupare a factorilor de exploatare pentru remedierea acestor situaţii.

Pentru îmbunătăţirea situaţiei s-au introdus în practică normele de apă şi verificarea acestora prin măsurători, iar înţelegerea faptului că modul de gospodărire a apei afectează şi bilanţul energetic al întreprinderii permite schimbarea opticii cu care este privită încă gospodărirea apelor pe platformele industriale.

De asemenea, sunt încă ramuri de activitate la care gradul de recirculare şi refolosire a apei este foarte scăzut. Acest lucru afectează negativ gospodărirea raţională a apei, mai ales dacă se are în vedere că o serie de întreprinderi utilizează în procesul de producţie apă potabilă preluată din reţeaua de alimentare cu apă a localităţii.

Scanned with OKEN Scanner

Apare astfel problema stabilirii şi a cerinţelor calitative ale apei pentru diferiţi consumatori industriali. Se poate aprecia că în prezent există numeroase situaţii în care industria consumă apă de mai bună calitate decât este necesară pentru procesul tehnologic, conducând la o risipă, în primul rând de ordin energetic.

Din unele studii de specialitate [41] rezultă că din considerente economico-energetice şi sociale nu este oportun a se folosi apă subterană ca sursă de alimentare pentru consumatorii industriali.

În cazul în care totuşi se utilizează apă subterană ca sursă pentru alimentarea cu apă, atât potabilă cât şi industrială în cadrul unei aşezări, ţinând seama de calitatea superioară a apei brute, nu se vor folosi instalaţii de tratare separate, iar atunci când se foloseşte apă de suprafaţă din râuri sau lacuri de acumulare, tratarea ei în staţii separate devine oportună.

2.4. SEPARAREA ALIMENTĂRII CU APĂ POTABILĂ ŞI INDUSTRIALĂ A CENTRELOR URBANE

Tendinţa actuală de a soluţiona necesarul de alimentare cu apă din ce în ce mai mare este aceea de a crea sisteme complexe care să grupeze atât sursele, lucrările de tratare, aducţie şi distribuţie a apei cât şi consumatorii (populaţia, industria şi agricultura).

Consumatorii industriali solicită cantităţi importante de apă cu pretenţii calitative în general mai scăzute în comparaţie cu exigenţele de calitate impuse apei potabile.

Deşi în centrele urbane o parte dintre unităţile industriale au sursă proprie de alimentare cu apă industrială (de obicei neraţional gospodărită), totuşi o mare parte din industria acestora utilizează apă din sistemele centralizate de alimentare cu apă potabilă.

Ţinând seama de caracteristicile diferite ale celor două folosinţe şi de ponderea cerinţei de apă industrială faţă de cerinţa totală, comparativ cu consumul de apă potabilă, se pune întrebarea dacă sistemul unic de alimentare (satisfăcând cu apă potabilă inclusiv consumatorii de apă industrială) se justifică tehnic şi economic faţă de cel separativ (sisteme centralizate separate de alimentare cu apă potabilă şi industrială).

Pentru a determina structura optimă a sistemului de alimentare cu apă se prezintă principial un model de calcul având la bază criteriul economic al costului minim:

$$F = \sum_{i=1}^{n} c_i \rightarrow \min \qquad (2.1)$$

Scanned with OKEN Scanner

în care apar cheltuielile anuale:

$$c_i = f\left(Q_{p,i},\ Q_{i,i}\right) \tag{2.2}$$

unde: Q_p este debitul de apă potabilă; Q_i – debitul de apă industrială.

Debitul de calcul care intervine în expresia elementelor calculului economic este:

$$Q = Q_p + Q_i = \frac{Q_p}{1 - \frac{Q_i}{Q}} = \frac{Q_p}{1 - X}; \qquad X \in [0,1]. \tag{2.3}$$

Scriind expresiile elementelor calculului economic (preţ de cost al apei, cheltuieli cu energia de pompare, cheltuieli de exploatare a reţelei de distribuţie [238]), funcţia obiectiv (2.1) se pune sub forma:

$$F = a_1 Q^n + a_2 Q + a_3 Q^{1/2} \rightarrow \min, \tag{2.4}$$

iar ţinând seama de relaţia (2.3) şi că în general $n = 2$, aceasta devine:

$$F = a_1 \left(\frac{Q_p}{1 - X}\right)^2 + a_2 \frac{Q_p}{1 - X} + a_3 \left(\frac{Q_p}{1 - X}\right)^{1/2} \rightarrow \min. \tag{2.5}$$

Ea se minimizează în condiţiile satisfacerii unor condiţii de ordin tehnico-economic, de gospodărire complexă şi de ordin financiar, care au ca scop:

- limitarea consumului global de energie electrică şi respectiv la vârf:

$$\sum w_i \le W; \qquad \sum w_{v,i} \le W_v \tag{2.6}$$

în care: w_i este energia electrică efectiv consumată de către diverşi utilizatori din sistemul de alimentare cu apă; W – energia electrică alocată anual sistemului de alimentare cu apă;

- limitarea consumului de materii prime, coagulanţi:

$$d_{co,i} \le D_{co} \tag{2.7}$$

în care: $d_{co,i}$ este doza de coagulant în 365 zile utilizată în staţiile de tratare; D_{co} – doza anuală admisă de coagulant;

- limitarea debitului dintr-o anumită sursă:

$$Q \le Q_{\text{sursă}} \tag{2.8}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: Q este debitul total necesar în sistemul de alimentare cu apă; $Q_{sursă}$ – debitul maxim sau optim (constant sau variabil) ce poate fi livrat alimentării cu apă în cadrul sistemului complex de gospodărire a apelor;

- limitarea investiţiei, costurile anuale:

$$i_i \le I \tag{2.9}$$

în care: i_i sunt investiţiile necesare în obiectele sistemului de alimentare cu apă într-o anumită etapă; I – investiţia totală limită alocată în aceeaşi etapă;

- limitarea indicilor de calitate:

$$IC_{ef} \le IC_{admis} \tag{2.10}$$

în care: IC_{ef} este indicele de calitate efectivă la sursă; IC_{admis} – indicele de calitate admis din condiţiile de calitate a apei din sistemul de alimentare (consum biochim de oxigen, oxigen dizolvat, grad de mineralizare, substanţe toxice etc.).

Întrucât

$$0 \le X = \frac{Q_i}{Q} \le 1, \tag{2.11}$$

studiul funcţiei de eficienţă $F(X)$ se face pentru $X \in [0,1]$ în intervalul dat de limitele reale pentru situaţia actuală (X_{min}) şi cea de perspectivă (X_{max}). Graficul corespunzător (fig. 2.1) permite, prin determinarea lui F_{min}, să se stabilească X_o, respectiv valoarea raportului Q_i/Q, de la care devine optimă structura separativă a sistemului de alimentare cu apă (S.S.).

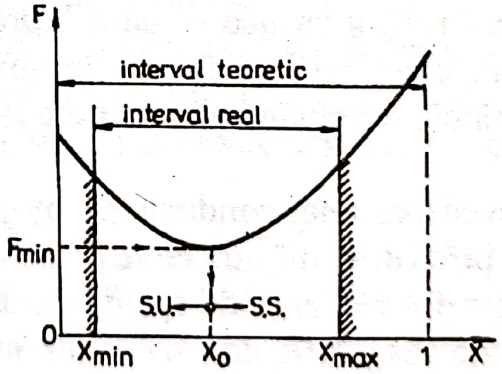


Fig. 2.1 – Reprezentarea grafică a funcţiei $F(X)$.

2.5. POSIBILITĂŢI ŞI MĂSURI DE REDUCERE A CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ AL STAŢIILOR DE TRATARE A APELOR DE ALIMENTARE

Problema tratării apelor este legată de calitatea apelor de suprafaţă sau subterane din care se face prelevarea. Cu cât calitatea apei este mai bună,

Scanned with OKEN Scanner

conform stasului 4706, cu atât şi tratarea este mai lesnicioasă şi deci consumul de energie electrică mai mic.

În cazul apelor de categorie inferioară din punct de vedere al calităţii, tratarea este mai dificilă, necesitând mai multe trepte, şi ca atare şi consumul de energie electrică este mai ridicat.

Fără a se intra în discuţii de detaliu, se prezintă câteva căi care, introduse în practica proiectării curente, pot conduce la economii directe sau indirecte de energie.

O astfel de posibilitate constă în folosirea unor materiale sau reactivi de tratare care permit reduceri apreciabile ale materialelor şi reactivilor clasici, enumerându-se:

– nisipul de granat, produs secundar al exploatării unor depozite de disten, în locul nisipului cuarţos clasic;

– adjuvanţi de tip poliacrilamidă, care în cantităţi foarte mici, de 0,1...0,3 mg/dm^3, permit reduceri ale dozelor de reactivi de coagulare (sulfat de aluminiu) de ordinul a zecilor de mg/dm^3;

– substanţe cu proprietăţi superioare de tratare: ozon, cărbune activ praf sau granulat, care permit să fie folosite ca surse de alimentare şi ape naturale cu un grad de poluare mai ridicat. Cu toate că substanţele menţionate presupun consumuri de energie electrică, balanţa energetică totală le poate fi favorabilă, în special în zonele în care nu există o altă sursă de apă.

Altă posibilitate de reducere a consumurilor de energie electrică în staţiile de tratare constă în adoptarea unor tehnologii de tratare sau metode de exploatare adecvate scopului urmărit:

– folosirea decantoarelor suspensionale cu recircularea stratului suspensional prin intermediul unor hidroejectoare cu pierdere de sarcină redusă, care concentrează fazele de amestec, reacţie şi limpezire într-o instalaţie unică, eliminând agitatoarele rapide sau lente necesare în situaţii clasice;

– prevederea unei conducte de by-passare a decantoarelor şi tratarea apei direct prin filtre, măsură ce se poate aplica în marea majoritate a anului pentru multe din cursurile de apă din ţară, reducându-se astfel consumurile de reactivi de coagulare, deci o economie indirectă de energie;

– spălarea filtrelor cu apă decantată şi nu cu apă tratată prin filtre, cum se face de obicei, folosindu-se astfel o apă pentru care s-a consumat mai puţină energie electrică;

– recuperarea apei de spălare a filtrelor, reducându-se astfel consumul tehnologic al staţiei de tratare;

– utilizarea tehnologiilor care cuprind trepte de tratare biologică, capabile să înlocuiască trepte de mare consum energetic (tratare cu raze ultraviolete etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Este ştiut că tratarea biologică are ca principiu de bază utilizarea capacităţii de oxidare biochimică a unor bacterii, ce fac parte din biocenoza normală a apei, pentru eliminarea unor substanţe poluante ca: amoniacul, substante organice, hidrogenul sulfurat.

Procedeul optim de exploatare a acţiunii acestor bacterii este filtrarea rapidă a apei, prin filtre de cărbune activ cu peliculă biologică însămânţate spontan din apă filtrată. Utilizarea acestui procedeu duce la eficienţe de 98...100 % pentru eliminarea amoniacului, 54...60 % pentru eliminarea substanţelor organice şi 82...86 % pentru eliminarea hidrogenului sulfurat.

Economiile de energie care se pot realiza prin utilizarea biotehnologiilor în tratarea apei, în comparaţie cu consumurile energetice ale tehnologiilor cuprinzând numai procedee fizico–chimice, sunt de cca. 40 %, reprezentând 0,303 kWh/m^3 de apă tratată sau 10,25 MWh/an pentru un debit tratat de 100 dm^3/s.

2.6. GOSPODĂRIREA RAŢIONALĂ A APEI LA UTILIZATORI

În etapa actuală se impune schimbarea mentalităţii asupra apei, aceasta fiind necesar a se considera ca o materie primă, ce include o mare cantitate de energie şi care trebuie gospodărită cu aceeaşi grijă ca şi celelalte materii prime energo–intensive (fier, lemn, ciment etc.).

În acest scop sunt necesare unele măsuri de bază:

– perfecţionarea realizării armăturilor reţelelor exterioare şi a instalaţiilor interioare de distribuţie a apei, precum şi echiparea obiectelor sanitare cu baterii amestecătoare cu reglaj fin în vederea reducerii pierderilor de apă, care aşa cum se va arăta, în multe centre urbane, ating 20...30 % şi chiar mai mult;

– raţionalizarea consumurilor de apă prin revizuirea normelor specifice;

– folosirea unor procedee locale pentru prepararea apei calde de consum;

– adoptarea sistemelor de instalaţii de recirculare a apei calde de consum pentru ansamblurile de clădiri, astfel încât să fie redus timpul de aşteptare a apei calde;

– realizarea efectivă a contorizării întregului sistem de alimentare cu apă folosind aparate fiabile;

– aplicarea în întreprinderile industriale nu numai a procedeului recirculării, ci şi a metodei de utilizare succesivă a apei de la procesele tehnologice mai pretenţioase, în ceea ce priveşte calitatea ei, la procesele tehnologice la care limitele de calitate a apei nu sunt atât de severe;

Scanned with OKEN Scanner

– modificarea procedeelor tehnologice industriale în vederea reducerii, pe de o parte a consumurilor de apă, iar pe de altă parte a gradului de poluare a apelor uzate, deci elaborarea unor tehnologii uscate, caz în care se asigură atât o economie directă de energie, cât şi o economie indirectă de energie, în asigurarea protecţiei calităţii surselor de apă ce urmează a fi prelevate de utilizatorii din aval.

2.7. OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUŢIE A APEI

Distribuţia apei, prin pompare la utilizatori, este un proces preponderent consumator de energie electrică, reclamând un consum de energie electrică de 70...80 % din energia consumată în exploatarea întregului sistem centralizat de alimentare cu apă a marilor centre economice şi industriale.

Dată fiind ponderea hotărâtoare a sistemului de distribuţie în optimizarea energetică globală a întregului sistem de alimentare cu apă, se impune pe de o parte optimizarea structurală şi funcţională din punct de vedere energetic a acestuia, atât pentru sistemele noi cât şi pentru cele aflate în exploatare, iar pe de altă parte elaborarea unor modele de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză şi de proiectare a reţelelor de distribuţie, la care se adaugă găsirea de soluţii şi măsuri pentru reducerea substanţială a pierderilor şi risipei de apă din sistem, obiective principale ale lucrării de faţă.

În acest sens, se prezintă soluţii pentru optimizarea funcţională a pompelor în sistemele de alimentare cu apă, reducându-se consumul de energie electrică cu 10...20%, procedee de optimizare funcţional–energetică a sistemelor de distribuţie, ce conduc la economii de energie de 20...30 %, şi soluţii pentru amenajarea optimizată a instalaţiilor ansamblurilor de clădiri, obţinându-se economii de energie electrică în proporţie de 30 %. Se prezintă şi unele procedee pentru reducerea substanţială a consumului energetic în instalaţiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor, precum şi măsuri de prevenire şi reducere a avariilor, risipei şi pierderilor de apă în sistem.

De asemenea, prin aplicarea unor modele şi procedee de calcul optimal al reţelelor de distribuţie se poate economisi o cantitate însemnată de energie electrică de pompare, atingând 10...30 %.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 3

OPTIMIZAREA CALCULULUI REŢELELOR DE DISTRIBUŢIE A APEI

3.1. CONSIDERAŢII PRELIMINARE

În cadrul sistemelor centralizate de alimentare cu apă, *reţelele de distribuţie* finalizează procesele prin care apa, în prealabil pregătită în condiţii economice avantajoase şi de bună calitate, este transportată utilizatorilor, iar funcţionarea lor este asigurată prin acţiunile conjugate ale staţiilor de pompare şi rezervoarelor.

Pe plan naţional însă există multă risipă de apă potabilă şi industrială, la care se adaugă pierderile de apă în reţelele şi în special în instalaţiile interioare, ce ridică considerabil consumul de energie electrică în sistem.

Se apreciază că în consumul de energie electrică pentru exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă, o pondere însemnată, de peste 80 %, o reclamă distribuţia apei în reţelele mari din centrele economice şi industriale, echipate exclusiv cu staţii exterioare de pompare, care încarcă mult sistemul energetic naţional.

De aceea, în contextul economic şi energetic general, optimizarea sistemelor de distribuţie a apei în scopul micşorării consumului de energie electrică a devenit o problemă de mare actualitate, necesitând, pe lângă optimizarea funcţional-energetică a sistemului de distribuţie, elaborarea unor modele de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză şi de proiectare a reţelelor de distribuţie a apei.

3.2. INDICI SPECIFICI DE COST ŞI ENERGETICI PENTRU REALIZAREA REŢELELOR DE DISTRIBUŢIE

3.2.1. INDICI DE COST

Având în vedere că la execuţia reţelelor de distribuţie a apei se utilizează materiale şi tehnologii ce înglobează o importantă cantitate de energie, iar pe întreaga durată de exploatare a reţelei se consumă energie necesară pentru pomparea apei, rezultă că în condiţiile penuriei actuale de energie şi ale

Scanned with OKEN Scanner

costului extrem de ridicat al acesteia, soluţia optimă de reţea nu poate fi obţinută decât prin satisfacerea unor criterii de optimizare în cadrul cărora un rol însemnat îl deţin *indicii specifici de cost şi energetici* pentru realizarea şi exploatarea acestor reţele.

Din analiza situaţiilor comparative a indicatorilor de cost, realizaţi la execuţia reţelelor de distribuţie a apei în mai multe localităţi industriale din ţară, s-au determinat valorile medii ale costurilor specifice de investiţie în conductele reţelelor la nivelul anului 1990, a căror variaţie cu diametrul, în funcţie de natura materialului de confecţionare, este reprezentată grafic în figura 3.1.

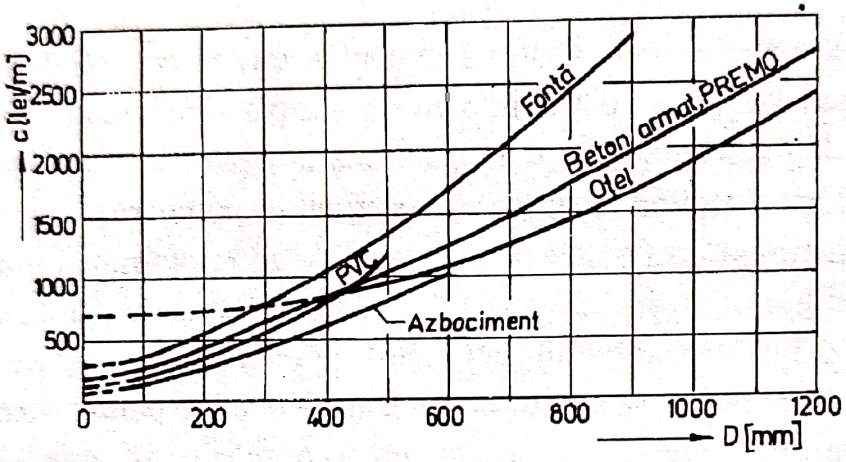


Fig. 3.1 – Variaţia costurilor specifice medii de investiţie în conductele reţelelor de distribuţie.

Rezultă că din punct de vedere economic cel mai mic cost specific de investiţie îl prezintă reţelele executate din tuburi de azbociment, urmând în ordine reţelele din tuburi de PVC, beton armat şi PREMO, oţel, cele din fontă având costul cel mai ridicat.

Din punct de vedere tehnic, reţelele realizate din tuburi de azbociment prezintă însă cele mai dese defecţiuni, atât la îmbinări cât şi pe traseu, datorită rezistenţei relativ reduse la suprapresiunile interioare şi la presiunile locale accidentale exterioare. De asemenea tuburile din azbociment îmbătrânesc, devenind casante, iar bucăţi mici de fibră din azbest antrenate de apă pătrund în organism, putând produce îmbolnăviri ale sistemului digestiv. De aceea se impune, pentru diametrele mici, folosirea tuburilor din PVC sau PE-HD, care sunt avantajoase datorită rugozităţii reduse şi evitării pericolului de formare a incrustaţiilor.

Cea mai mare siguranţă în exploatare o au reţelele executate din ţevi de oţel, însă prezintă dezavantajul unei durate reduse de viaţă, iar costul suplimentar pentru realizarea unor protecţii interioare şi exterioare contra coroziunii face ca aceste reţele să nu fie mai ieftine decât cele din fontă.

Scanned with OKEN Scanner

Rețelele de conducte din beton armat și PREMO sunt economice și prezintă siguranță în exploatare pentru diametrele mijlocii și mari, asemănătoare cu cea a rețelelor din fontă, pentru diametre mici și medii.

3.2.2. INDICI ENERGETICI

Rețelele de distribuție a apei formează baza structurii sistemelor de alimentare cu apă și implică importante consumuri de combustibil și energie, necesare pe de o parte la producerea și montarea conductelor, iar pe de altă parte la funcționarea instalațiilor de pompare pentru vehicularea apei în conducte.

De aceea se impune raționalizarea și reducerea consumului de energie electrică atât la sistemele existente pentru distribuția apei, cât mai ales la cele noi, ce se proiectează, precum și utilizarea la realizarea acestora a conductelor cu energie înglobată minimă.

În diagrama din figura 3.2 sunt date pentru comparație consumurile specifice echivalente medii de energie electrică și combustibil care intervin la fabricarea și montarea diferitelor tipuri de conducte folosite în țară, în funcție de materialul și diametrul acestora.

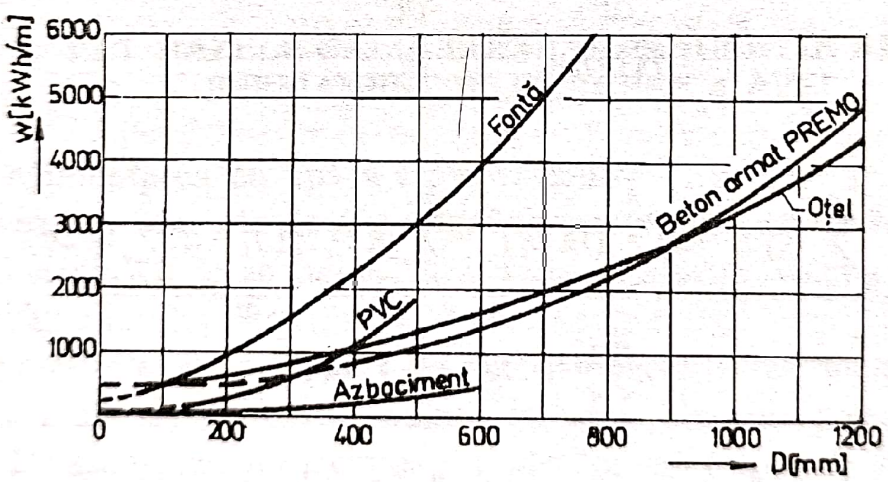


Fig. 3.2 – Variația consumului de energie specifică înglobată pentru conductele rețelelor de distribuție.

Rezultă că din punct de vedere energetic cel mai redus consum specific de energie înglobată îl prezintă rețelele executate din tuburi de azbociment, urmând în ordine rețelele din tuburi de beton armat, PREMO, oțel și PVC, iar cele de fontă au cea mai mare energie specifică înglobată.

Atât curba costului specific de investiție, cât și curba energiei specifice înglobate *w*, în raport cu diametrul *D* al conductelor rețelelor de distribuție, se pot aproxima folosind interpolarea geometrică modificată [214],

Scanned with OKEN Scanner

printr-o funcţie binomială de forma:

$$f = a + bD^{\alpha} \tag{3.1}$$

unde coeficienţii a, b şi exponentul α se determină statistic aplicând metoda celor mai mici pătrate, potrivit căreia se minimizează suma abaterilor curbei teoretice faţă de curba reală.

Astfel, cunoscând costurile specifice medii de investiţie c_i, respectiv energiile specifice medii înglobate w_i notate cu f_i, pentru diverse diametre D_i, în funcţie de natura materialului de confecţionare a conductei, se trasează câte o curbă prin punctele (D_i, f_i) conform figurilor 3.1 şi 3.2, de unde prin extrapolare $(D = 0)$ se obţine valoarea a corespunzătoare fiecărui material, apoi ţinând seama de (3.1) se scrie:

$$\lg(f_i - a) = \lg b + \alpha \lg D_i. \tag{3.2}$$

Pentru expresia:

$$F = \sum_{i=1}^{n} \left[\lg b + \alpha \lg D_i - \lg(f_i - a)\right]^2, \tag{3.3}$$

se pun condiţiile de minim:

$$\frac{\partial F}{\partial(\lg b)} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 \tag{3.4}$$

şi se obţine:

$$\lg b = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg(f_i - a) \sum_{i=1}^{n} (\lg D_i)^2 - \sum_{i=1}^{n} \lg D_i \lg(f_i - a) \sum_{i=1}^{n} \lg D_i}{n \sum_{i=1}^{n} (\lg D_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} \lg D_i\right)^2}, \tag{3.5}$$

$$\alpha = \frac{n \sum_{i=1}^{n} \lg D_i \lg(f_i - a) - \sum_{i=1}^{n} \lg D_i \sum_{i=1}^{n} \lg(f_i - a)}{n \sum_{i=1}^{n} (\lg D_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} \lg D_i\right)^2}, \tag{3.6}$$

în care n este numărul diametrelor D_i analizate.

Pe baza relaţiilor (3.5) şi (3.6) s-a elaborat programul ordinator APROGE [214], cu ajutorul căruia s-au calculat valorile coeficienţilor specifici a, b şi ale exponentului α în funcţie de materialul de confecţionare a conductei, ce sunt prezentate în tabelul 3.1.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.1

Parametrii costului specific, energiei specifice şi rugozităţii pentru conducte

Nr. crt.	Materialul conductei	Costul specific			Energia specifică înglobată			Rugozitatea	
		a	*b*	*a*	*a*	*b*	*α*	Δ [mm]	*k*
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Beton armat PREMO	695	1160	2,10	460	2720	2,00	0,25	0,001495
2	Fontă	290	3060	1,52	200	8260	1,50	0,25	0,001495
3	Oţel	180	2030	1,20	400	3000	1,70	0,10	0,001495
4	Azbociment	140	2110	1,68	40	1060	1,90	0,05	0,001272
5	PVC	150	2675	1,50	60	8540	2,25	0,01	0,001272

Valorile parametrilor *a*, *b* şi α ai costului specific de investiţie şi ai energiei specifice înglobate au o mare utilitate în calculele de optimizare a diametrelor conductelor din reţelele de distribuţie.

3.3. PROBLEME FUNDAMENTALE ALE CALCULULUI HIDRAULIC OPTIMAL AL REŢELELOR INELARE

3.3.1. BAZELE CALCULULUI HIDRAULIC ÎN REGIM PERMANENT DE CURGERE A APEI

Alimentarea cu apă a marilor centre urbane şi industriale se efectuează prin reţele de distribuţie cu dimensiuni din ce în ce mai mari, fiind necesar ca, în scopul asigurării unei uniformizări şi a unei mai mari stabilităţi a liniilor de presiune cu efecte economico–energetice favorabile, să fie realizate cu o structură tot mai complexă (reţele inelare, alimentare din mai multe surse, staţii de pompare integrate, elemente potenţiale interioare etc.). De asemenea, proiectarea extinderilor sau reconsiderarea unor reţele în vederea optimizării energetice a funcţionării acestora conduce la complicarea schemei generale a sistemului şi implicit la sporirea dificultăţilor de calcul.

Oricărei reţele de distribuţie îi corespunde un graf asociat orientat, compus din arce, care pot reprezenta tronsoane, pompe sau armături, şi vârfuri, ca rezervoare, pompe sau intersecţii de conducte. Topologia unei astfel de reţele poate fi descrisă complet şi univoc cu ajutorul matricei de incidenţă şi a matricei ciclurilor, construite pentru graful asociat acesteia.

Pentru o reţea inelară cu topologie simplă se poate stabili între numărul de tronsoane *T*, noduri *N* şi inele fundamentale (conţinând eventual şi pompe

Scanned with OKEN Scanner

integrate pe artere) M, relaţia Euler [214], care dă numărul ciclomatic în graf, iar în cazul topologiei complexe, cu rezervoare şi pompe în noduri, la numărul de inele fundamentale dàt de această relaţie se mai adaugă N_{RP}-1 pseudoinele (fictive), astfel încât numărul total de inele independente M se determină cu relaţia:

$$M = T - N + N_{RP} \tag{3.7}$$

în care N_{RP} este numărul total al rezervoarelor şi pompelor din noduri.

Prin *calculul hidraulic* al reţelelor de distribuţie se urmăreşte determinarea diametrelor, debitelor şi pierderilor de presiune pe tronsoane, astfel încât să se asigure în toate nodurile de consum debitele necesare şi presiunea de serviciu. La acest calcul trebuie să se respecte legile de mişcare a apei de-a lungul tuturor conductelor, exprimate prin condiţiile:

– continuitatea debitului în noduri

$$f_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} Q_{ij} + q_j = 0 \qquad (j = 1, \ldots, N - N_{RP}) \tag{3.8}$$

în care: f_j este debitul rezidual (neînchiderea) din nodul j; Q_{ij} - debitul de tranzit al tronsonului ij, cu semnul (+) când intră în nodul j, respectiv (–) când iese din nodul j; q_j – debitul concentrat al nodului j, cu semnul (+) când alimentează nodul şi cu semnul (–) când se consumă în nod;

– conservarea energiei pe inele:

$$\Delta h_m = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m = 0 \qquad (m = 1, \ldots, M) \tag{3.9}$$

în care: Δh_m este pierderea de sarcină reziduală (divergenţa) din inelul m; h_{ij} – pierderea longitudinală de sarcină pe tronsonul ij; ε_{ij} – orientarea tronsonului ij cu valoarea (+1) sau (–1), după cum sensul de curgere a apei în conducta ij este acelaşi sau opus cu sensul de parcurs al inelului m, şi valoarea (0), dacă $ij \notin m$; f_m – sarcina piezometrică introdusă de elementele potenţiale din inelul m, dată de relaţiile:

- inele închise simple:

$$f_m = 0 \tag{3.10}$$

- inele închise conţinând pompe integrate pe artere:

$$f_m = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} \varepsilon_{ij} H_{p,ij} \tag{3.11}$$

Scanned with OKEN Scanner

- inele deschise cu pompe şi/sau rezervoare în noduri:

$$f_m = Z_I - Z_E \tag{3.12}$$

unde: $H_{p,ij}$ este înălţimea de refulare a pompei integrate pe artera ij, la debitul Q_{ij}; Z_I, Z_E – cotele piezometrice la instalaţiile de punere sub presiune de la intrare, respectiv ieşire din ciclu.

În cazul particular al reţelelor ramificate ($M = 0$, $T = N-1$) numărul ecuaţiilor de nod egal cu $N-1$ este suficient pentru determinarea debitelor ca necunoscute.

Atât la dimensionarea cât şi la verificarea funcţionării reţelelor de distribuţie, calculul hidraulic este de cea mai mare însemnatate, implicând în ambele cazuri echilibrarea debitelor în reţelele de tip inelar.

Relaţiile (3.8) şi (3.9) constituie modelul matematic pe baza căruia s-au elaborat mai multe metode de echilibrare hidraulică a reţelelor inelare, în cadrul cărora se folosesc diverse procedee de rezolvare a sistemului de ecuaţii neliniare formulat, în funcţie de mărimile hidraulice adoptate ca necunoscute.

Indiferent de metoda utilizată, se dispune de un număr T de ecuaţii, dat de relaţia generală (3.7), care pot avea ca necunoscute debitele sau pierderile de sarcină pe tronsoane. În ambele cazuri intră implicit ca necunoscute şi diametrele conductelor prin intermediul rezistenţelor hidraulice ale acestora. Deci, se poate afirma că numărul total al necunoscutelor este $2T$, iar numărul ecuaţiilor pentru aceeaşi reţea este T, apărând din punct de vedere matematic o problemă nedeterminată, cu gradul de nedeterminare egal cu numărul ciclomatic M al grafului topologic al reţelei.

Nedeterminarea se ridică, de obicei, alegându-se diametrele printr-un calcul de predimensionare. Astfel, la efectuarea calculului hidraulic al reţelelor inelare de distribuţie a apei se poate spune că s-au conturat două probleme principale:

– *analiza reţelei*, având drept scop determinarea debitelor reale în conducte şi verificarea cotelor piezometrice în noduri, considerând ca date topologia reţelei, debitele concentrate în noduri şi respectiv diametrele;

– *proiectarea* (*sinteza*) *reţelei*, presupunând atât dimensionarea reţelei, care este necesar a se efectua după criterii tehnice şi economico-energetice bine fundamentate (proiectarea optimală), cât şi verificarea hidraulică a acesteia.

3.3.2. RELAŢIA FUNCŢIONALĂ PIERDERE DE SARCINĂ–DEBIT ÎN CONDUCTE CU DEBIT CONSTANT

La calculul hidraulic al conductelor reţelelor de distribuţie a apei este necesar să se determine pierderile de energie care intervin în transportul apei, ce se manifestă în principal ca pierderi de presiune (de sarcină), dominante fiind cele longitudinale.

Scanned with OKEN Scanner

Potrivit prevederilor stasului 4163, calculul pierderii de sarcină în conductele reţelelor exterioare de alimentare cu apă, în ipoteza consumului la noduri, se efectuează cu relaţia Darcy–Weisbach:

$$h_{ij} = \frac{8}{\pi^2 g} \lambda_{ij} \frac{L_{ij}}{D_{if}^r} Q_{ij}^2 \qquad (3.13)$$

în care: L_{ij}, D_{ij}, Q_{ij}, λ_{ij} sunt respectiv lungimea, diametrul, debitul şi coeficientul de rezistenţă hidraulică a tronsonului *ij*, care variază în funcţie de regimul de mişcare a apei în conductă; r – exponent cu valoarea 5; g – acceleraţia gravitaţională.

Dintre relaţiile generale de calcul a coeficientului λ, cu valabilitate extinsă asupra întregului regim turbulent, se recomandă relaţia Colebrook–White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3{,}71D}\right) \qquad (3.14)$$

unde: Re este numărul Reynolds; D – diametrul conductei; Δ – rugozitatea absolută a peretelui conductelor, care potrivit stasului 4163 are valorile din tabelul 3.1.

În scopul realizării unei economii, la timpul afectat calculatorului, se recomandă pentru calculul coeficientului λ în domeniul turbulenţei tranzitorii (când criteriul Moody, Re $\sqrt{\lambda}\,\Delta/D$, are valori între 14 şi 200) expresia explicită [8]:

$$\sqrt{\lambda} = \frac{A + \sqrt{A^2 + 16\sqrt{\lambda_p}\,\mathrm{Re}\Delta/D}}{2\mathrm{Re}\Delta/D} \qquad (3.15)$$

în care:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_p}} = -2\lg\frac{\Delta}{D} + 1{,}138 \qquad (3.16)$$

$$A = \mathrm{Re}\frac{\Delta}{D}\sqrt{\lambda_p} + 8\sqrt{\lambda_p} - 4 \qquad (3.17)$$

unde λ_p este coeficientul de rezistenţă hidraulică corespunzător regimului turbulent pătratic de curgere a apei.

Relaţia (3.13) este incomodă de utilizat pentru calculul unei reţele de conducte şi de aceea este convenabil a se pune sub o formă asemănătoare cu cea pentru cazul curgerii apei în regim pătratic de tip Chézy–Manning.

Scanned with OKEN Scanner

Aşa cum reiese din reprezentarea grafică dată de diagrama lui Moody, relaţia Colebrook-White poate fi aproximată pe intervale mari de debit cu o variaţie liniară pentru diverse valori ale raportului Δ/D. Pornind de la această observaţie, coeficientul de rezistenţă λ_{ij} se exprimă sub forma:

$$\lambda_{ij} = \lambda_* \, Q_{ij}^{-\mu} \tag{3.18}$$

în care λ_* şi μ sunt constante pentru intervalul de variaţie a debitelor tranzitate în conductele reţelei şi Δ/D_{ij} constant.

Alegând două debite Q_1 şi Q_2, respectiv valorile Re_1 şi Re_2 ale numărului Reynolds, care limitează domeniul de variaţie a debitelor pe tronsoane, se calculează coeficienţii λ_1 şi λ_2 corespunzători, cu relaţia explicită (3.15).

Logaritmând relaţia (3.18) scrisă pentru cele două debite se obţine un sistem de două ecuaţii cu necunoscutele λ şi μ, a cărui rezolvare conduce la expresiile:

$$\mu = \frac{\lg\lambda_2 - \lg\lambda_1}{\lg Q_1 - \lg Q_2} = \frac{\lg\lambda_2 - \lg\lambda_1}{\lg \mathrm{Re}_1 - \lg \mathrm{Re}_2} \tag{3.19}$$

$$\lambda_* = \lambda_1 Q_1^{\mu} = \lambda_1 \left(\frac{\pi}{4}\nu D_{ij}\right)^{\mu} \mathrm{Re}_1^{\mu} \tag{3.20}$$

în care ν este viscozitatea cinematică a apei.

Introducând în relaţia (3.13) expresia (3.18) a coeficientului λ_{ij}, se exprimă pierderea de sarcină prin relaţia de forma generală:

$$h_{ij} = \frac{8\lambda_*}{\pi^2 g}\frac{L_{ij}}{D_{ij}^r} Q_{ij}^{\beta} = S_{ij} Q_{ij}^{\beta} = S_{ij} Q_{ij} \left|Q_{ij}\right|^{\beta-1} \tag{3.21}$$

unde:

$$S_{ij} = k\frac{L_{ij}}{D_{ij}^r}, \tag{3.22}$$

$$k = \frac{8\ \lambda_*}{\pi^2 g}, \tag{3.23}$$

$$\beta = 2 - \mu, \tag{3.24}$$

în care S_{ij} este modulul de rezistenţă hidraulică a tronsonului *ij*.

Se observă că, relaţia de tip Chézy–Manning poate fi obţinută prin particularizarea relaţiei (3.21) pentru: $\beta = 2$; $r = 5{,}33$; $\lambda_* = k(\pi^2 g/8)$; $k = 10{,}33\ n^2$, unde k este coeficientul ce caracterizează rugozitatea conductelor, în funcţie de coeficientul Manning n şi are valorile prezentate în tabelul 3.1.

Scanned with OKEN Scanner

Admițând viteza medie a apei de 0,3…1,5 m/s, pe baza relațiilor (3.15), (3.19), (3.20) și (3.24), s-a elaborat programul ordinator PARELF, cu ajutorul căruia s-a calculat variația parametrilor λ_* și β pentru conducte din diferite materiale și temperaturi ale apei de 10 °C (sursă subterană) și 20 °C (sursă de suprafață), care este reprezentată grafic în diagramele din figura 3.3.

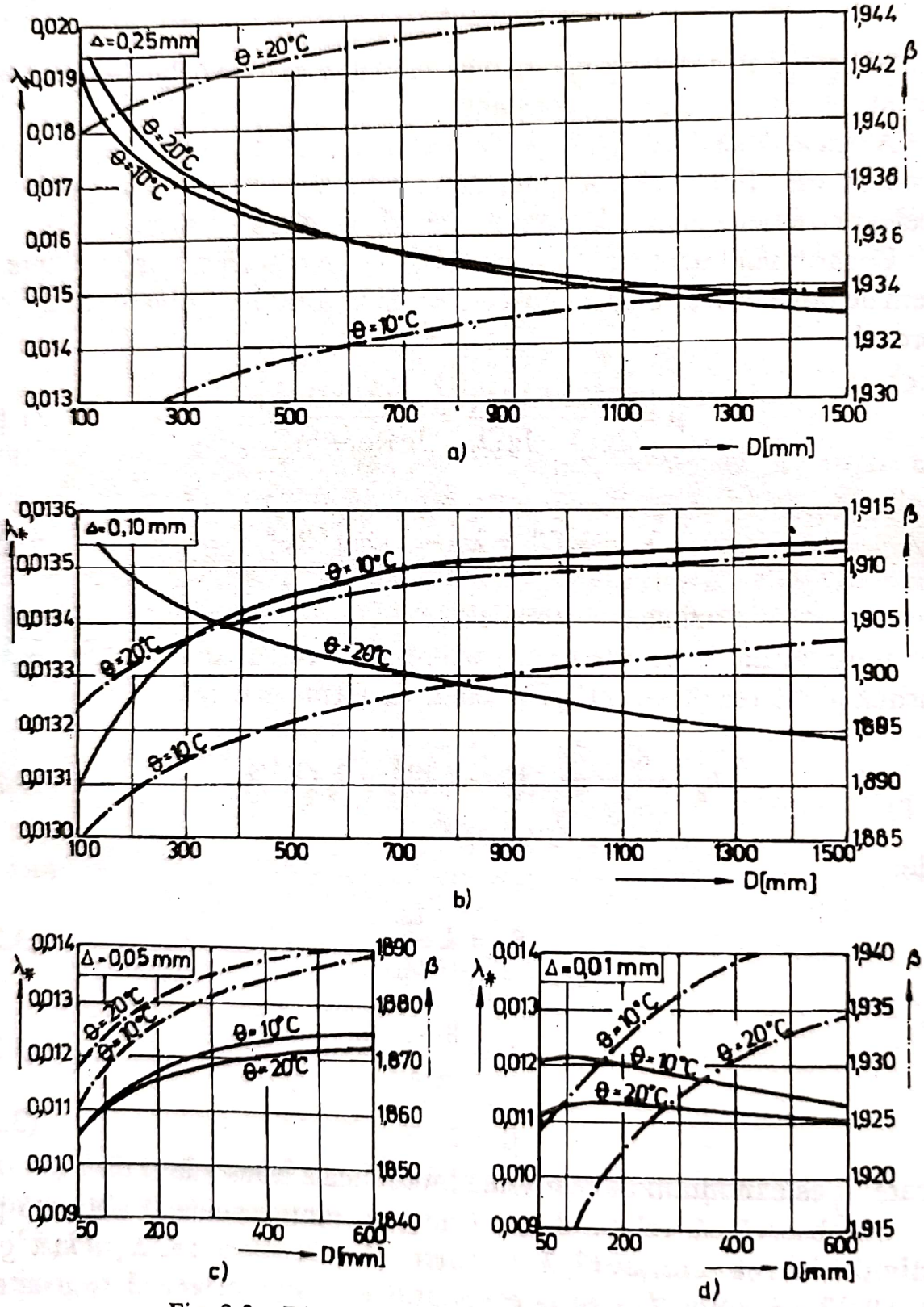


Fig. 3.3 – Diagrame de variație a parametrilor λ_* și β:
a – beton armat și fontă; *b* – oțel; *c* – azbociment; *d* – PVC.

3.3.3. GENERALIZAREA RELAŢIEI FUNCŢIONALE PENTRU CONDUCTE CU CONSUM UNIFORM DISTRIBUIT

Pentru stabilirea mai precisă a pierderilor de energie în sistemul de distribuţie a apei şi implicit a parametrilor staţiilor de pompare se impune perfecţionarea modelelor de calcul al reţelelor de distribuţie, luând în considerare conductele cu debit variabil funcţionând în domeniul turbulenţei tranzitorii.

Pentru evaluarea energiei disipate în conducte cu debit variabil, în studii de specialitate de dată relativ recentă [50] s-a ajuns la o relaţie de calcul complexă, care ia în considerare efectele hidrodinamice complete inclusiv cele secundare de ramificaţie din zonele prizelor de consum.

Prin particularizarea acestei relaţii la cazul conductelor cu debit de consum continuu şi uniform distribuit, expresia pierderii de sarcină între capetele extreme ale conductei primeşte forma:

$$h_{ij}^{*} = S_{ij}\left(Q_0^2 - Q_0 Q_c + \frac{Q_c^2}{3}\right) - \frac{8\alpha_0 Q_c}{\pi^2 g D_{ij}^4}(2Q_0 - Q_c) \qquad (3.25)$$

în care: D_{ij}, S_{ij} sunt diametrul şi modulul de rezistenţă hidraulică a conductei ij; Q_o – debitul conductei, introdus în secţiunea iniţială; Q_c – debitul consumat la prizele de pe conducta ij; α_o – coeficientul de neuniformitate a distribuţiei vitezei în secţiunea conductei.

Termenul al doilea al relaţiei (3.25) reprezintă pierderea de energie inerţială, datorită variaţiei longitudinale a debitului conductei, şi determină diminuarea pierderii totale de sarcină.

Pentru a putea considera debitul constant în conductele reţelei se face echivalarea conductei cu consum continuu uniform distribuit, cu o conductă simplă, cu consum egal repartizat la noduri. În consecinţă pierderea de presiune este:

$$h_{ij}^{*} = S_{e,ij}\left(Q_0 - \frac{Q_c}{3}\right)^2 = S_{e,ij} Q_{ij}^2 \qquad (3.26)$$

în care: $S_{e,ij}$ este modulul de rezistenţă echivalent al tronsonului ij; Q_{ij} – debitul de calcul al tronsonului ij.

Din egalizarea relaţiilor (3.25) şi (3.26), după calcule elementare, rezultă expresia modulului de rezistenţă echivalent:

$$S_{e,ij} = S_{ij}\frac{\frac{1}{3}\theta_{ij}^2 - (1-\omega_{ij})\theta_{ij} + 1 - 2\omega_{ij}}{\left(1 - \frac{\theta_{ij}}{2}\right)^2} \qquad (3.27)$$

Scanned with OKEN Scanner

în care s-au folosit următorii parametrii adimensionali caracteristici:

– pentru consum $$\theta_{ij} = \frac{Q_c}{Q_0}, \tag{3.28}$$

– pentru conductă $$\omega_{ij} = \frac{\alpha_0 D_{ij}}{\lambda_{ij} L_{ij}}. \tag{3.29}$$

Introducând expresia (3.27) în relaţia (3.26) şi folosind notaţiile:

$$\Theta_{ij} = \frac{4}{3}\frac{\theta_{ij}^2 - 2\theta_{ij} + 3}{\left(2-\theta_{ij}\right)^2} \tag{3.30}$$

$$\Omega_{ij} = \frac{4\alpha_0 D_{ij}}{\lambda_{ij}\left(2-\theta_{ij}\right)} \tag{3.31}$$

relaţia pierderii de sarcină în conducte cu debit de consum continuu şi uniform distribuit devine:

$$h_{ij}^{*} = h_{ij}\left(\Theta_{ij} - \frac{\Omega_{ij}}{L_{ij}}\right) \tag{3.32}$$

în care: h_{ij} este pierderea de sarcină pe tronsonul ij în ipoteza consumului la noduri, dată de relaţia (3.13) sau (3.21); L_{ij} – lungimea tronsonului ij.

Pentru $\Theta_{ij} = 1$ şi $\Omega_{ij} = 0$, relaţia generalizată (3.32) primeşte formele particulare (3.13) sau (3.21), valabile pentru conducte cu debit constant.

3.3.4. PROCEDEE DE TRANSFORMARE A GRAFULUI ASOCIAT REŢELELOR INELARE

În scopul uşurării şi accelerării calculului reţelelor inelare, unele modele moderne de calcul hidraulic şi tehnico–economic prevăd diferite transformări teoretice ale acestor reţele.

• *Transformarea reţelelor inelare în reţele virtual ramificate* are drept scop alegerea cu uşurinţă a sistemului de inele teoretice independente şi determinarea repartiţiei iniţiale a debitelor de tranzit pe tronsoane cu ajutorul calculatoarelor electronice, putându-se realiza prin:

– efectuarea unui număr f de secţiuni fictive a nodurilor, dat de relaţia:

$$f = M + s - 1 \tag{3.33}$$

în care: M este numărul inelelor independente; s – numărul surselor de alimentare;.

Scanned with OKEN Scanner

– suprimarea ipotetică din fiecare inel a unor tronsoane care îl închid; se recomandă înlăturarea conductelor transversale ale reţelei şi nu ale arterelor, pentru ca tranzitul debitelor să nu sufere modificări esenţiale;

– determinarea, cu ajutorul unor modele de optimizare, a unui graf parţial de valoare optimă care include toate nodurile reţelei inelare.

După ce se calculează repartiţia debitelor de tranzit pe tronsoanele reţelei virtual ramificate recursiv, pornind de la nodurile extreme ale acesteia, se revine asupra reţelei inelare considerate şi se efectuează verificarea închiderii liniilor de presiune pe inele în vederea reducerii divergenţei sub limita cerută de actele normative.

• *Procedeul reţelelor echivalente* se aplică reţelelor inelare cu un număr foarte mare de inele, când calculul devine foarte laborios, creând probleme chiar şi în cazul utilizării calculatoarelor numerice. Acest procedeu constă în transformarea unei reţele de distribuţie cu un număr mare de inele într-o reţea cu un număr redus de inele sau o succesiune de conducte. Este util mai ales în calcule tehnico–economice, deoarece prezintă posibilitatea considerării a numeroase alternative de analiză şi studiu.

Condiţia care se pune în echivalenţa reţelelor este ca, pe un traseu de mare importanţă funcţională a reţelei, în punctele extreme reţeaua echivalentă să admită aceleaşi condiţii de margine ca şi reţeaua reală. Studiul se face astfel pe o altă reţea inelară care admite aceleaşi pierderi de sarcină între nodurile extreme ale traseului ca şi reţeaua inelară reală. Mărimile hidraulice care suferă modificări în procesul de echivalenţă sunt debitul Q_{ij} şi modulul de rezistenţă S_{ij}.

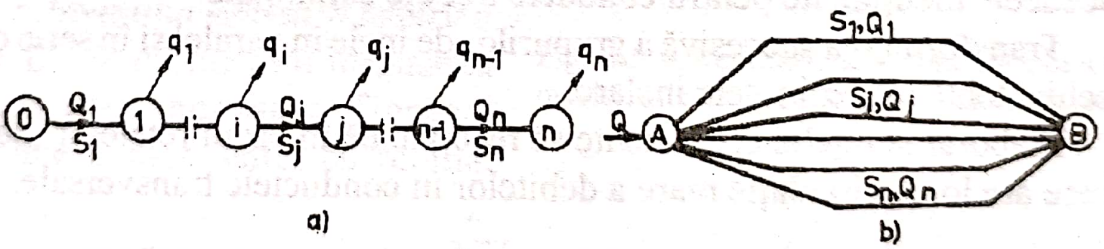


Fig. 3.4 – Sisteme de conducte:
a – serie; *b* – paralel.

Sistemul de n conducte în serie (fig. 3.4. *a*), cu consumatori în fiecare nod, cu modulii de rezistenţă S_i şi debitele de tranzit Q_i, este echivalent cu o conductă simplă având modulul de rezistenţă S_e şi debitul de tranzit Q_e, date de relaţiile:

$$S_e = \sum_{j=1}^{n} S_j, \qquad (3.34)$$

$$Q_e = \frac{Q_1 + Q_n}{2}, \tag{3.35}$$

iar pierderea de sarcină se calculează cu relaţia:

$$h_{on} = S_e Q_e^{\beta}. \tag{3.36}$$

În cazul unui *sistem de n conducte în paralel* (fig. 3.4.*b*) se poate scrie:

$$h_{AB} = S_1 Q_1^{\beta} = S_2 Q_2^{\beta} = \ldots = S_n Q_n^{\beta}. \tag{3.37}$$

Se observă că debitul echivalent Q_e este dat de relaţia:

$$Q_e = Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = \sum_{j=1}^{n} Q_j. \tag{3.38}$$

Din (3.37) prin ridicare la puterea 1/β rezultă:

$$Q_1 S_1^{1/\beta} = Q_2 S_2^{1/\beta} = \ldots = Q_n S_n^{1/\beta} = Q_e S_e^{1/\beta} \tag{3.39}$$

şi dacă se explicitează din relaţiile (3.39) debitele $Q_1, \ldots, Q_n$ în funcţie de Q_e şi se introduc în relaţia (3.38), se obţine expresia modulului de rezistenţă echivalent S_e:

$$\frac{1}{S_e^{1/\beta}} = \frac{1}{S_1^{1/\beta}} + \frac{1}{S_2^{1/\beta}} + \ldots + \frac{1}{S_n^{1/\beta}} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{S_j^{1/\beta}}. \tag{3.40}$$

Echivalenţa inelelor în paralel se rezolvă prin generalizarea procedeului de echivalenţă a conductelor, iar pentru echivalenţa inelelor în serie, procedeele menţionate pentru conducte trebuie combinate.

Transformarea succesivă a grupurilor de inele în paralel şi în serie duce la echivalenţa întregii reţele inelare.

Elaborarea reţelei echivalente se recomandă în cazul reţelelor inelare în care are loc o circulaţie mare a debitelor în conductele transversale.

3.3.5. CRITERII DE OPTIMIZARE A DIMENSIONĂRII REŢELELOR DE DISTRIBUŢIE

Proiectarea unei reţele de distribuţie a apei determină *variabilele de proiectare* ce respectă anumite condiţii (*restricţiile proiectării*) impuse de comportarea şi funcţionalitatea reţelei, minimizând o *funcţie de performanţă* (*funcţia obiectiv* sau *funcţia criterială*).

Se consideră soluţia optimă a problemei de proiectare, soluţia care conduce la cea mai bună alegere a variabilelor în condiţiile îndeplinirii tuturor limitărilor şi restricţiilor puse.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul de optimizare a diametrelor pentru conductele reţelelor de distribuţie a apei presupune deci stabilirea unei funcţii obiectiv, mono sau multicriteriale, care prezintă prioritate din punct de vedere economico–energetic în etapa respectivă. Se pot folosi *criterii de cost* sau *energetice*, simple ori compuse, care ţin seama de investiţia necesară realizării reţelei, costul energiei de pompare, cheltuielile de exploatare, energia înglobată, energia consumată etc.

Astfel, dacă se consideră ca funcţie obiectiv o funcţie dependentă de mărimea investiţiilor C_c, valoarea ei creşte o dată cu mărirea diametrului D al conductelor, iar dacă se alege ca funcţie obiectiv o funcţie dependentă de costul energiei necesare pompării C_e, valoarea funcţiei scade cu creşterea diametrelor (fig. 3.5). Considerând funcţia bicriterială F_c dependentă atât de mărimea investiţiilor cât şi de costul energiei de pompare, soluţia optimă corespunde minimului acestei funcţii, obţinută prin compunerea grafică a celor două costuri componente.

În etapa actuală aceste criterii prezintă o mare importanţă, deoarece pe de o parte reducerea investiţiei înseamnă şi diminuarea cantităţii de materiale pe ansamblul reţelei, iar pe de altă parte scăderea costului energiei de pompare înseamnă şi micşorarea consumului energetic, care constituie o problemă majoră pe scară mondială.

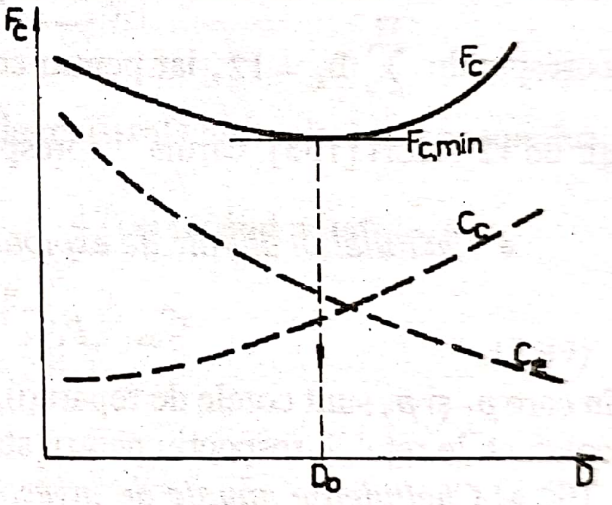


Fig. 3.5 – Reprezentarea funcţiei obiectiv bicriteriale la o conductă alimentată prin pompare.

• *Investiţia necesară pentru o reţea*, C_c, se obţine prin însumarea investiţiilor necesare fiecărei conducte componente, cu relaţia:

$$C_c = \sum_{ij=1}^{T} \left(a + bD_{ij}^{\alpha}\right) L_{ij} \qquad (3.41)$$

în care: T este numărul tronsoanelor de conducte din reţea; a, b, α – parametrii de cost, cu valorile date în tabelul 3.1; D_{ij}, L_{ij} – diametrul şi lungimea tronsonului ij.

• *Investiţia în staţia de pompare*, C_p, proporţională cu puterea instalată, are forma:

$$C_p = \frac{9{,}81}{\eta} f \sigma Q_p \left(\sum h_{ij} + H_o\right) \qquad (3.42)$$

în care: η este randamentul global al instalaţiei de pompare; f – costul de instalare a unităţii de putere; σ – factor supraunitar ce ţine seama de rezerva de putere instalată; Q_p – debitul pompat în reţea prin staţie; Σh_{ij} – suma pierderilor de sarcină pe un traseu defavorabil, plecând de la staţia de pompare spre punctul obligat; H_o – componenta geodezică şi de utilizare a înălţimii de pompare.

- *Costul anual al energiei de pompare,* C_e, se defineşte prin expresia:

$$C_e = W_e e = \frac{9{,}81}{\eta} 730 e \tau \sum_1^{12} \Phi_k Q_p \left(\sum h_{ij} + H_o \right) \qquad (3.43)$$

unde: W_e este energia consumată pentru pomparea apei; e – tariful energiei electrice; $\tau = T_p/8760$ – coeficientul pompării, ce ţine seama de numărul efectiv de ore T_p de pompare pe perioada unui an; Φ_k – raportul între debitul lunar mediu şi debitul pompat, cu valoarea 1 pentru întreprinderile industriale la care se livrează un debit constant pe tot parcursul anului şi pentru care corespunde $\sum_1^{12} \Phi_k = 12$, iar pentru centrele populate se poate opera cu un şir de 12 valori [153], căruia îi corespunde $\sum_1^{12} \Phi_k = 10{,}44$.

- *Cheltuielile anuale de exploatare,* C_{ex}, se exprimă sub forma:

$$C_{ex} = p_1 C_c + p_2 C_p + C_e \qquad (3.44)$$

în care p_1 şi p_2 sunt cotele de reparaţii, întreţinere şi revizii periodice pentru conductele reţelei, respectiv pentru staţia de pompare.

- *Cheltuielile anuale de investiţie şi exploatare,* C_{an}, se definesc cu ajutorul funcţiei multicriteriale:

$$C_{an} = \beta_0 \left(C_c + C_p \right) + C_{ex} \qquad (3.45)$$

în care $\beta_o = 1/T_r$ este cota de amortizare pentru durata de exploatare T_r.

- *Cheltuielile totale actualizate,* C_{ac}, se exprimă prin funcţia multicriterială:

$$C_{an} = C_c + C_p + \frac{(1+\beta_0)^t - 1}{\beta_0 (1+\beta_0)^t} C_{ex} \qquad (3.46)$$

şi se consideră pe toată durata de exploatare ($t = T_r$).

- *Energia înglobată în reţea,* W_c, se defineşte cu ajutorul funcţiei obiectiv binomiale de forma (3.41), în care parametrii a, b, α au valorile corespunzătoare din tabelul 3.1.

Scanned with OKEN Scanner

- *Consumul energetic al rețelei,* W_t, însumează energia înglobată în rețea și cea cheltuită pentru exploatarea rețelei, corespunzător perioadei de un an și se exprimă cu relația:

$$W_t = (\beta_0 + p_1)W_c + W_e \tag{3.47}$$

în care: W_c este energia înglobată în rețea; W_e – energia consumată pentru pomparea apei, având expresia dedusă din (3.43).

- *Consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea,* w_{sd}, în kWh/m^3, se obține raportând puterea hidraulică disipată pe artere la suma debitelor de consum din noduri:

$$w_{sd} = 0{,}00272 \frac{\sum_{ij=1}^{T} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta+1}}{\sum_{\substack{j=1 \\ q<0}}^{N} |q'_j|} \tag{3.48}$$

în care: Q_{ij}, S_{ij} sunt debitul și modulul de rezistență hidraulică al tronsonului ij; q'_j – debitul consumat în nodul j.

Ținând seama de relațiile (3.41)...(3.47) și făcând notațiile:

$$r_a = \frac{(1+\beta_0)^t - 1}{\beta_0 (1+\beta_0)^t} \tag{3.49}$$

$$\xi_1 = r_a p_1 + \frac{t}{T_r}; \qquad \xi_2 = r_a p_2 + \frac{t}{T_r} \tag{3.50}$$

$$\Psi = \frac{9{,}81}{\eta} \left(f \sigma \xi_2 + 730 r_a e \tau \sum_{1}^{12} \Phi_k \right) \tag{3.51}$$

se stabilește o *funcție obiectiv complexă multicriterială*, de forma generală:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^{T} \left(a + b D_{ij}^{\alpha}\right) L_{ij} + \Psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} \left(\sum h_{ij} + H_0 \right)_j \tag{3.52}$$

unde: t este durata pentru care se aplică criteriul de optimizare exprimat prin funcția obiectiv, având valoarea 1 sau T_r; NP – numărul stațiilor de pompare.

Funcția obiectiv (3.52) dă posibilitatea ca, prin particularizarea parametrului de timp t și a celorlalți parametrii economici și energetici

caracteristici sistemului de distribuţie, să se obţină câte o funcţie criterială particulară având una din formele (3.41)...(3.47). De exemplu, pentru $t=1$, $r_a=1$, $e=1$, $f=0$ se obţine criteriul consumului energetic minim al reţelei.

Având în vedere că diametrele conductelor unei reţele pot lua valori în gama diametrelor succesive, variind între 20 şi 30 %, se pot adopta valori medii pentru anumiţi parametri cu variaţii în limite cunoscute.

Pentru reţelele alimentate prin pompare, literatura de specialitate [1], [105], [153], [238], [240] recomandă folosirea *criteriului cheltuielilor anuale de investiţie şi exploatare minime* (CAN), existând şi unele modele de calcul optimal având la bază acest criteriu, dar care nu se aplică în mod curent în practică. Explicarea cea mai probabilă a neutilizării lor provine de la majorarea diametrelor faţă de cele obţinute prin metoda clasică, ceea ce presupune un efort iniţial de investiţie superior economiei în exploatare, care ar putea fi realizată numai pe întreaga durată de recuperare. La aceasta se mai adaugă faptul că şi costurile de exploatare se eşalonează în timp şi se suportă mai uşor, chiar dacă în total sunt mai mari decât în cazul diametrelor optime.

Se poate aduce totuşi şi o critică utilizării criteriului CAN, prin aceea că adoptând la realizarea investiţiei diametrele optime obţinute pe baza acestui criteriu, ele devin neeconomice la un moment dat după execuţie, datorită evoluţiei preţurilor în timp.

De aceea este recomandabilă dinamizarea criteriului CAN folosind *criteriul cheltuielilor totale actualizate minime* (CTA), primul reprezentând de fapt un caz particular al celui de-al doilea, atunci când investiţia se realizează într-un an, cheltuielile de exploatare fiind aceleaşi de la an la an, iar durata de viaţă a sistemului de distribuţie este mare.

De asemenea, se recomandă utilizarea unor criterii diferite de cele de cost, cum sunt cele energetice. În acest sens, un alt mod de a pune problema, care-şi păstrează mai bine valabilitatea în timp şi conduce la omogenizarea funcţiei criteriale, este dimensionarea reţelei pe *criteriul minimului sumei dintre energia înglobată şi cea cheltuită pentru exploatare* (WT).

În cazul reţelelor cu funcţionare gravitaţională, curgerea apei este asigurată de energia potenţială iniţială, acumulată în rezervoarele de înmagazinare, iar dimensionarea optimală a acestora se efectuează pe baza *criteriului investiţiei minime* sau al *energiei înglobate minime* şi a unor condiţii suplimentare pentru a nu se ajunge la o funcţie monotonă.

3.4. ANALIZA REŢELELOR INELARE COMPLEXE DE DISTRIBUŢIE A APEI

3.4.1. GENERALITĂŢI

Formularea unor modele matematice adecvate, care să permită determinarea circulaţiei debitelor şi distribuţiei presiunilor în reţele cu o structură complexă, este esenţială, atât pentru rezolvarea corectă şi eficientă

Scanned with OKEN Scanner

a etapei de proiectare, cât şi pentru analiza reţelei în diferite regimuri de exploatare, normale sau de avarie.

Această problemă apare în particular la proiectarea extinderilor sau reconsiderarea unor reţele în vederea optimizării funcţionale.

În literatura de specialitate s-au conturat pentru analiza repartiţiei debitelor şi a stării de presiune în reţele inelare de distribuţie a apei, în funcţie de mărimile hidraulice adoptate ca necunoscute, trei categorii de metode: cea care consideră debitele de corecţie pe inele (*metoda ciclurilor*), cea care consideră cotele piezometrice în noduri (*metoda nodurilor*) şi cea care consideră debitele pe tronsoane (*metoda tronsoanelor*) drept necunoscute.

Atât în metoda ciclurilor cât şi în metoda nodurilor se folosesc, pentru rezolvarea sistemului de ecuaţii neliniare caracteristice acestora, procedee iterative ca Lobacev, Cross, Newton–Raphson, iar în metoda tronsoanelor se aplică procedeul iterativ de liniarizare a ecuaţiilor de inel. Procedeele Lobacev şi Cross efectuează corecţia fiecărui inel sau nod în parte, pe când procedeul Newton–Raphson efectuează corecţia simultană la toate inelele sau nodurile.

Se arată şi posibilitatea abordării diferite a acestei probleme, folosind pentru analiza ciclică şi nodală procedeul formulărilor variaţionale, care prezintă avantajul aplicării unui algoritm de optimizare specializat pentru a minimiza direct o funcţie criterială multivariabilă fără restricţii.

3.4.2. METODA CICLURILOR

3.4.2.1. Principiile metodei

Metoda ciclurilor se foloseşte, îndeosebi, pentru analiza reţelelor care utilizează ca necunoscute debitele pe tronsoane.

Sistemul neliniar compus din $N\text{-}N_{RP}$ ecuaţii independente de tipul (3.8) şi T ecuaţii de tipul (3.21), pentru determinarea celor T debite de tranzit în conducte şi $N\text{-}N_{RP}$ cote piezometrice în nodurile reţelei, se reduce la sistemul de ecuaţii neliniare (3.9) cu dimensiunea M egală cu numărul inelelor independente, care se poate rezolva pe baza a două principii diferite, comportând următoarele etape:

– fixarea unui sens iniţial de mişcare a apei pe fiecare tronson;

– stabilirea unei convenţii de semn pentru mărimile hidraulice proprii fiecărui tronson (debit, pierdere de sarcină), potrivit căreia sunt considerate pozitive debitele ce parcurg inelul în sens orar şi negative debitele de sens invers;

– determinarea unei repartiţii iniţiale a debitelor de tranzit pe tronsoane $Q_{ij}^{(0)}$, care să verifice condiţiile (3.8) de bilanţ al debitelor în noduri;

Scanned with OKEN Scanner

– aplicarea unuia din principiile metodei ciclurilor şi anume principiul egalizării debitelor sau principiul egalizării presiunilor.

• *Principiul egalizării debitelor* aparţine lui Abramov [2] şi este indicat în cazul în care se cunosc presiunile în nodurile de consum. Conform acestuia se calculează divergenţa pierderilor de sarcină Δh_m în fiecare inel m şi se efectuează redistribuirea pierderilor de presiune în conductele fiecărui inel, astfel încât în toate inelele să fie satisfăcută condiţia (3.9) de conservare a energiei, după care se calculează debitele cu relaţia funcţională (3.21).

• *Principiul egalizării presiunilor* este cel mai frecvent utilizat şi constă în calculul divergenţei de sarcină Δh_m în fiecare inel m şi introducerea unor corecţii de debit astfel încât să fie satisfăcute condiţiile (3.9) de conservare a energiei pe inele.

Astfel, asociind fiecărui inel m un debit de corecţie ΔQ_m şi alegând o repartiţie iniţială de debite pe tronsoane $Q_{ij}^{(0)}$, care trebuie însă să respecte condiţiile (3.8), se poate scrie:

$$Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^{M} \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \ , \qquad (ij = 1, \ldots, T) \tag{3.53}$$

iar sistemul (3.8), (3.9), cu ecuaţia (3.9) explicitată ţinând seama de (3.21), se reduce pentru inelele simple ($f_m = 0$) la :

$$\sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} \left[\left(Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^{M} \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right) \left| Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^{M} \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^{\beta - 1} \right] = 0, \quad (m = 1, \ldots, M) \tag{3.54}$$

în care orientarea ε_{ij} a tronsonului ij este dată de relaţia:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{dacă sens } ij \equiv \text{sens } m \\ 0, & \text{dacă } ij \notin m \\ -1 & \text{dacă sens } ij \neq \text{sens } m. \end{cases} \tag{3.55}$$

3.4.2.2. **Procedeul iteraţiilor simple (Lobacev)**

Acest procedeu a fost propus de Lobacev în anul 1934 şi separat de Cross în anul 1936 [44], [126] şi constă în principal în rezolvarea sistemului de ecuaţii de tipul (3.54) prin aproximaţii succesive, unde necunoscutele sunt corecţiile de debite pe inele.

Scanned with OKEN Scanner

În ipoteza regimului turbulent tranzitoriu de curgere a apei, pierderea de presiune reziduală în fiecare inel simplu m se calculează cu relaţia:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} \left|Q_{ij}\right|^{\beta-1}, \tag{3.56}$$

iar debitele de corecţie se determină separat pentru fiecare inel cu formula de aproximare liniară:

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{R_m} = -\frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij} \left|Q_{ij}\right|^{\beta-1}} \tag{3.57}$$

în care R_m reprezintă suma rigidităţilor tronsoanelor ij ce alcătuiesc inelul m.

Pornind de la o repartiţie iniţială a debitelor $Q_{ij}^{(0)}$ care satisface condiţiile (3.8), acestea se corectează folosind relaţia (3.53), până ce se obţine o închidere cu eroare admisă.

De subliniat că debitele de corecţie sunt aproximate, în acest caz, neglijându-se influenţa corecţiei din inelele învecinate şi corecţia de debit la puteri mai mari decât 1 pentru inelul considerat.

3.4.2.3. **Procedeul iteraţiilor cu transmiteri (Hardy-Cross)**

Prin acest procedeu se determină corecţia ciclică de debit într-un inel m cu mai multă precizie, luând în considerare şi influenţa corecţiei din inelele adiacente k, prin coeficienţii de transmitere t_{k-m}, daţi de relaţia:

$$t_{k-m} = \frac{\left(S_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\beta-1}\right)\Big|_{k-m}}{\sum_{(m)} S_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\beta-1}}, \tag{3.58}$$

care aşa cum rezultă din această relaţie sunt întotdeauna pozitivi şi subunitari.

Din condiţia (3.54), de închidere a liniei de presiune pe inelul m, rezultă relaţia de calcul a corecţiei debitelor din inelul respectiv sub forma:

$$\Delta Q_m = \frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\beta-1}} + \sum t_{k-m} \Delta Q_k, \tag{3.59}$$

ce conduce la un sistem de ecuaţii liniare, cu necunoscutele ΔQ_m $(m = 1, \ldots, M)$, care se poate rezolva folosind metode numerice, cum ar fi algoritmul eliminării Gauss sau cunoscuta metodă Cross de transmitere a momentelor încovoietoare din statică.

Scanned with OKEN Scanner

Potrivit ultimei metode, pe o schemă de transmiteri, determinată de graful conjugat al reţelei inelare, se înscriu corecţiile de debit calculate la prima iteraţie a procedeului Lobacev, precum şi coeficienţii de transmitere t_{k-m}, t_{m-k} şi se începe transmiterea valorilor începând cu cele mai mari şi continuând până când valorile transmise devin foarte mici.

Procedeul iteraţiilor cu transmiteri ţine seama mai fidel de sistemul de relaţii între inele, ceea ce conduce la o convergenţă mai rapidă decât a procedeului iteraţiilor simple.

3.4.2.4. **Perfecţionarea procedeului clasic de analiză ciclică**

Având în vedere că metoda ciclurilor oferă o bună convergenţă şi stabilitate numerică a procesului iterativ [5], [23], s-a conceput, în scopul determinării circulaţiei debitelor şi a distribuţiei presiunilor în reţelele inelare, un model de analiză bazat pe această metodă, utilizând pentru rezolvarea ecuaţiilor de inel o variantă perfecţionată a procedeului clasic Lobacev, adaptat în mod corespunzător pentru reţele cu configuraţie complexă.

Se consideră în figura 3.6 schema unei reţele inelare, ce conţine elemente potenţiale interioare şi exterioare (pompe integrate pe artere, rezervoare şi pompe în noduri).

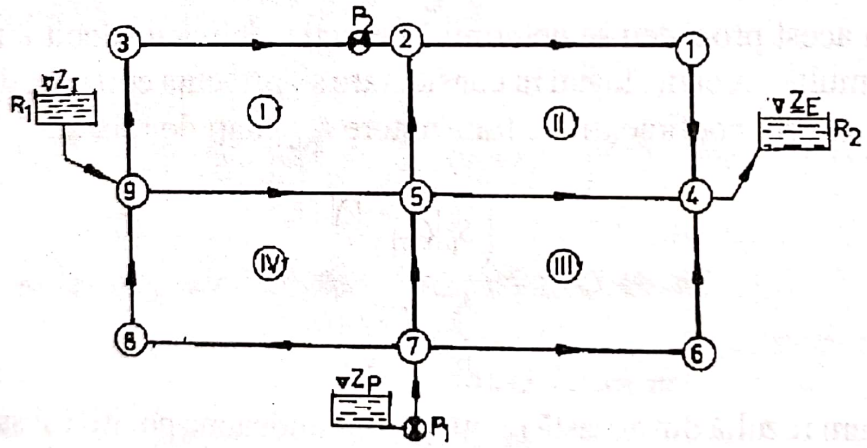


Fig. 3.6 – Schema de principiu a unei reţele inelare complexe.

Pentru a răspunde condiţiilor tehnice create de acţiunea elementelor potenţiale, în grafurile topologice ale reţelelor inelare trebuie introduse tranziţii suplimentare, iar algoritmul de echilibrare trebuie adaptat în mod corespunzător. În acest caz se mai adaugă pe lângă inelele fundamentale închise, conţinând eventual şi pompe integrate pe artere, un număr de $N_{RP}-1$ inele fictive deschise, unde N_{RP} este numărul total al rezervoarelor şi pompelor din noduri, rezultând un număr M de inele independente dat de relaţia (3.7).

Scanned with OKEN Scanner

Orice inel deschis leagă două noduri, fiecare având cota piezometrică cunoscută (rezervor) sau o relație determinată (stație de pompare) între debit și nivelul piezometric.

Se prezintă în continuare modul în care se modifică relațiile modelului de echilibrare după procedeul Lobacev, în cazul rețelelor inelare cu topologie complexă.

• *Relații pentru inele închise cu pompe integrate pe artere.* Întrucât după procedeul Lobacev se neglijează influența mișcării apei în inelele adiacente, se consideră inelul închis singular din figura 3.7, de tipul inelului 9-3-2-5-9 ce aparține rețelei din figura 3.6, pentru care relația de calcul a divergenței în ipoteza regimului turbulent tranzitoriu va fi:

$$\Delta h = S_{12}Q_{12}^{\beta} + S_{23}Q_{23}^{\beta} - S_{34}Q_{34}^{\beta} - S_{14}Q_{14}^{\beta} - H_{p,23}, \qquad (3.60)$$

unde s-a ținut seama că scriind ecuația lui Bernoulli în lungul tronsonului de conductă 2–3, definit de nodul amonte 2 și aval 3 (fig. 3.8) și conținând pompa intermediară P cu înălțimea de pompare $H_{p,23}$, rezultă diferența Z_2–Z_3 a cotelor piezometrice în cele două noduri:

$$h_{23} = Z_2 - Z_3 = S_{23}Q_{23}^{\beta} - H_{p,23}\,. \qquad (3.61)$$

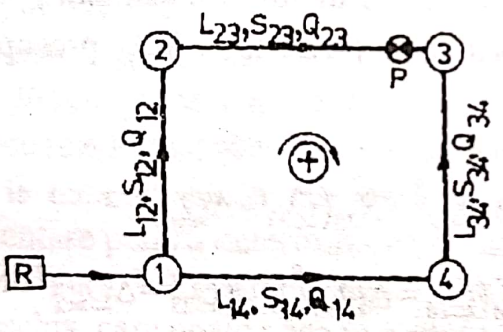


Fig. 3.7 – Calculul divergenței pe un inel închis.

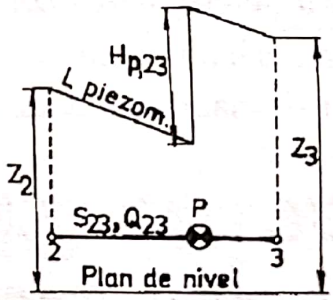


Fig. 3.8 – Graficul piezometric în lungul unui tronson.

Prin generalizare, pentru un inel oarecare *m* relația (3.60) devine:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} \left|Q_{ij}\right|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} H_{p,ij} \qquad (3.62)$$

în care: ε_{ij} este orientarea tronsonului *ij*, dată de relația (3.55); $H_{p,ij}$ – înălțimea de refulare a pompei integrate pe artera *ij*, la debitul Q_{ij}, aproximată prin interpolare parabolică pe caracteristica dată prin puncte, sub forma:

$$H_{p,ij} = AQ_{ij}^2 + B\left|Q_{ij}\right| + C \qquad (3.63)$$

unde coeficienții *A*, *B*, *C* s-au determinat pentru mai multe tipuri de pompe produse în țară și sunt prezentați în tabelul 3.2.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.2

Coeficienţii funcţiei de interpolare a înălţimii de pompare la pompe centrifuge

Nr. crt.	Tipul pompei	*A*	*B*	*C*
0	1	2	3	4
1	BRATEŞ - 350	-88,82	24,82	13,74
2	BRATEŞ - 500	-13,09	0,28	15,85
3	SIRET - 400	-169,81	12,23	30,66
4	SIRET - 900	-8,43	7,11	29,55
5	NDS - 12	-183,96	39,03	62,40
6	NDS - 18	-111,12	81,06	46,34
7	LOTRU - 80	-27272,81	-649,35	51,22
8	LOTRU - 100	-16256,09	-83,75	57,65
9	CERNA - 125	-16656,61	1000,00	19,67
10	CERNA - 200	-2608,72	387,17	17,53
11	CRIŞ - 125	-13000,04	200,00	19,70
12	CRIŞ - 200	-849,12	56,84	21,14

Pentru determinarea corecţiei ciclice în inelul m considerat, se pune condiţia anulării divergenţei Δh_m^* prin corecţia de debit ΔQ_m, presupunând că $\Delta h_m < 0$ şi ţinând seama de (3.63):

$$\Delta h_m^*\left(Q_{ij}+\varepsilon_{ij}\Delta Q_m\right)=S_{12}\left(Q_{12}+\Delta Q_m\right)^{\beta}+S_{23}\left(Q_{23}+\Delta Q_m\right)^{\beta}-$$
$$-S_{34}\left(Q_{34}-\Delta Q_m\right)^{\beta}-S_{14}\left(Q_{14}-\Delta Q_m\right)^{\beta}-A\left(Q_{23}-\Delta Q_m\right)^2-$$
$$-B\left(Q_{23}+\Delta Q_m\right)-Q=0. \qquad (3.64)$$

Scriind formula de dezvoltare în serie Taylor a funcţiei (3.64) rezultă:

$$\Delta h_m^*\left(Q_{ij}+\varepsilon_{ij}\Delta Q_m\right)=\Delta h_m+\sum_{(m)}\frac{\partial\Delta h_m}{\partial Q_{ij}}\left(\varepsilon_{ij}\Delta Q_m\right)+$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{(m)}\frac{\partial\Delta h_m}{\partial Q_{ij}^2}\left(\varepsilon_{ij}\Delta Q_m\right)^2+\ldots=0, \qquad (3.65)$$

iar pentru cazul considerat în figura 3.7 se obţine:

$$\Delta h_m^*\left(Q_{ij}+\varepsilon_{ij}\Delta Q_m\right)=\Delta h+\left[\beta\left(S_{12}Q_{12}+S_{23}Q_{23}+S_{34}Q_{34}+S_{14}Q_{14}\right)-\right.$$
$$\left.-\left(2AQ_{23}+B\right)\right]\Delta Q_m+f\left(\Delta Q_m^2,\Delta Q_m^3,\ldots\right)=0. \qquad (3.66)$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se face notaţia

$$R_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} \frac{\partial \Delta h_m}{\partial Q_{ij}} \tag{3.67}$$

şi se neglijează infiniţii mici de grad superior lui 1, din (3.65) se obţine formula cunoscută în aproximaţia liniară pentru calculul corecţiilor ciclice, după procedeul iteraţiilor simple:

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{R_m}, \tag{3.68}$$

care prin explicitarea rigidităţii R_m a inelului m, cu ajutorul relaţiei (3.66), ţinând seama de (3.62) şi (3.63), primeşte forma generală

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \left(2A|Q_{ij}| + B\right)}. \tag{3.69}$$

În cazul când nu există pompe integrate pe artere, deci este vorba de un inel simplu, în relaţiile (3.62) şi (3.69) se ia $A = B = C = 0$, regăsindu-se relaţiile particulare (3.56) şi respectiv (3.57).

• *Relaţii pentru inele deschise cu rezervoare sau pompe în noduri.* Inelele cu rezervoare sau pompe în noduri sunt cicluri deschise (închise fictiv, având la capete câte o pompă sau un rezervor) care introduc condiţii suplimentare pentru determinarea debitelor în aceste noduri.

În figura 3.9 s-a reprezentat graficul piezometric pentru un astfel de inel deschis, care poate avea în nodul I de intrare în ciclu, respectiv în nodul E de ieşire din ciclu, un rezervor sau o pompă.

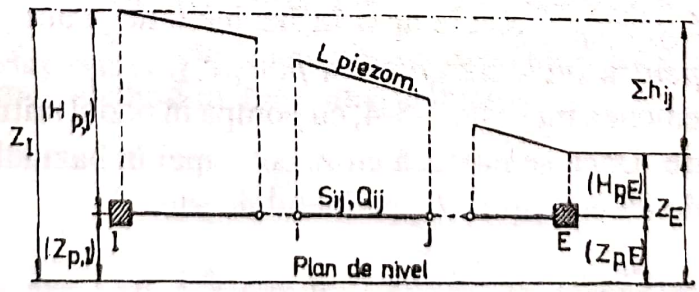


Fig. 3.9 – Graficul piezometric în lungul unui pseudoinel.

Pentru un inel cu rezervoare în noduri, cum este inelul 9-5-4 din figura 3.6, neînchiderea pe inel este dată de relaţia

$$\Delta h_m = Z_E + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=I,E} \varepsilon_k S_k q_k |q_k|^{\beta-1} - Z_I \tag{3.70}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: Z_I, Z_E sunt cotele apei în rezervorul de la intrare, respectiv ieşire; q_k – debitul în branşamentele la nodurile de intrare şi ieşire din ciclul m; S_k – modulul de rezistenţă hidraulică pentru branşamente; ε_k – orientarea egală cu (+1) sau (–1) după cum sensul de curgere a apei în branşament coincide sau nu cu convenţia de semn la nod.

Procedând în mod analog ca la inelul închis, se determină expresia corecţiei de debit în inelul m:

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{\beta\left(\sum_{(m)} S_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\beta-1} + \sum_{k=I,E} S_k\left|q_{ij}\right|^{\beta-1}\right)}. \qquad (3.71)$$

Dacă în nodurile de intrare şi ieşire din ciclul m se află pompe, atunci relaţia (3.70) rămâne valabilă cu observaţia că:

$$Z_I = H_{p,I} + Z_{p,I} \qquad (3.72)$$

$$Z_E = H_{p,E} + Z_{p,E}, \qquad (3.73)$$

iar corecţia inelară de debit are expresia:

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{\beta\left(\sum_{(m)} S_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\beta-1} + \sum_{k=I,E} S_k\left|q_k\right|^{\beta-1}\right) + 2\left(A_E\left|q_E\right| - A_I\left|q_I\right|\right) + \left(B_E - B_I\right)} \qquad (3.74)$$

în care: $H_{p,I}$, $H_{p,E}$ sunt înălţimile de refulare a pompelor de la intrarea şi ieşirea din ciclul m, exprimate în funcţie de debitele q_k printr-o relaţie de forma (3.63); $Z_{p,I}$, $Z_{p,E}$ – cotele apei în bazinele de aspiraţie a pompelor.

• *Relaţii pentru inele deschise cu pompe şi rezervoare în noduri.* În figura 3.6 un asemenea inel este 7-5-4, cu pompa în nodul iniţial şi rezervorul în nodul de ieşire. Dacă se notează cu Z_I cota apei în bazinul de aspiraţie a pompei, expresia divergenţei Δh_m pe inelul m este:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} Q_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\beta-1} + \sum_{k=I,E} \varepsilon_k S_k q_k\left|q_k\right|^{\beta-1} - H_{p,I} - Z_I + Z_E \qquad (3.75)$$

în care: Z_E este cota apei în rezervorul amplasat la ieşire din ciclu; $H_{p,I}$ – înălţimea de refulare a pompei amplasate la intrare în ciclu. Exprimând înălţimea de pompare $H_{p,I}$ printr-o relaţie de tipul (3.63) şi procedând analog ca în cazul inelului închis, se determină relaţia de calcul a corecţiei de debit

Scanned with OKEN Scanner

pe inelul m:

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{\beta\left(\sum_{(m)} S_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\beta-1} + \sum_{k=\mathrm{I,E}} S_k\left|q_k\right|^{\beta-1}\right) - \left(2A_{\mathrm{I}}\left|q_{\mathrm{I}}\right| + B_{\mathrm{I}}\right)}. \tag{3.76}$$

în care: q_{I} este debitul pompat; S_{I} – rezistenţa hidraulică a branşamentului pompei.

Modelul de calcul presupune cunoscute următoarele date de bază: topologia reţelei; lungimile, diametrele şi rugozitatea absolută a conductelor; cotele geodezice şi debitele concentrate pentru fiecare nod de consum; cota piezometrică în nodul obligat. Pornind de la aceste date se calculează debitele, pierderile de sarcină şi vitezele apei în conducte, precum şi cotele piezometrice la noduri. Calculul debitelor se face, potrivit procedeului Lobacev, furnizând o repartiţie iniţială ce respectă condiţiile de continuitate la noduri şi care este corectată succesiv cu ajutorul ecuaţiilor ciclurilor, astfel încât să fie satisfăcută conservarea energiei pe inele independente.

Ţinând seama de relaţiile (3.62), (3.70) şi (3.75), divergenţele pierderilor de sarcină pe cele trei tipuri de inele se sistematizează şi se pun sub o formă generală restrânsă:

$$\Delta h_m = Z_{\mathrm{E}} + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij}\left(h_{ij} - H_{\mathrm{p},\,ij}\right) - Z_{\mathrm{I}} \tag{3.77}$$

în care: Z_{I}, Z_{E} sunt cotele apei în rezervoare (bazine de aspiraţie) la intrarea şi respectiv ieşirea din ciclul m; ε_{ij} – orientarea tronsonului ij, inclusiv a branşamentului în nodul de intrare şi ieşire; h_{ij} – pierderea de sarcină pe tronsonul ij, inclusiv branşamente; $H_{\mathrm{p},ij}$ – înălţimea de refulare a pompei intermediare amplasată pe tronsonul ij sau a pompei exterioare branşată în nodul de intrare al ciclului m.

Pornind de la soluţia iniţială $Q_{ij}^{(0)}$ se corectează debitele iterativ folosind relaţia (3.53). Pentru calculul corecţiilor ciclice la iteraţia (k) se utilizează formula dedusă în aproximaţia liniară:

$$\Delta Q_m^{(k)} = -\frac{\Delta h_m^{(k)}}{R_m^{(k)}}, \tag{3.78}$$

în care divergenţa $\Delta h_m^{(k)}$ şi suma rigidităţilor $R_m^{(k)}$ pe ansamblul inelului m au expresiile:

$$\Delta h_m^{(k)} = Z_{\mathrm{E}} + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij}^{(k)}\left|Q_{ij}^{(k)}\right|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \varepsilon_{ij}\left[A_{ij}\left(Q_{ij}^{(k)}\right)^2 + B_{ij}\left|Q_{ij}^{(k)}\right| + C_{ij}\right] - Z_{\mathrm{I}}, \tag{3.79}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$R_m = \beta \sum_{(m)} S_{ij} \left| Q_{ij}^{(k)} \right|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \left(2A_{ij} \left| Q_{ij}^{(k)} \right| + B_{ij} \right). \qquad (3.80)$$

Corecţia calculată la fiecare ciclu se aplică imediat, nu la încheierea iteraţiei ca în metoda standard, ceea ce permite propagarea mai rapidă a corecţiilor la ciclurile care urmează şi mărirea vitezei de convergenţă. Procesul iterativ se opreşte atunci când se atinge pe fiecare ciclu precizia prescrisă prin valoarea limită a corecţiei debitelor (0,00003…0,000001 m^3/s) sau atunci când numărul iteraţiilor depăşeşte o valoare maxim admisă. Pentru a accelera convergenţa modelului de calcul se determină reţeaua virtual ramificată optimă, folosind algoritmul de optimizare descris la pct. 3.5.2, care minimizează suma rezistenţelor hidraulice S_{ij}, iar soluţia iniţială $Q_{ij}^{(0)}$ se obţine considerând debitele nule în conductele care nu aparţin reţelei virtual ramificate şi determinând celelalte debite recursiv, pornind de la nodurile extreme ale acestei reţele.

Acest model de calcul este eficace, întrucât modificarea debitelor în conductele unui inel modifică în mod egal echilibrul celorlalte inele având conducte comune cu acesta, permiţând propagarea mai rapidă a corecţiilor în reţea, cu efecte pozitive asupra vitezei de convergenţă. În plus, se menţionează că relaţiile generale (3.79) şi (3.80) se aplică numai ciclurilor fictive, iar ciclurile închise se tratează separat, cu o buclă paralelă pentru pompele de pe artere, de aici rezultând o reducere substanţială a volumului calculelor.

După ce s-a determinat repartiţia finală a debitelor, se calculează cu relaţia funcţională (3.21) pierderile de sarcină pe tronsoane, iar apoi pornind de la un nod cu cota piezometrică cunoscută se obţin cotele piezometrice Z_j în toate celelalte noduri ale reţelei, în funcţie de care rezultă presiunile disponibile H_j la noduri:

$$H_j = Z_j - ZT_j \qquad (3.81)$$

în care ZT_j este cota geodezică în nodul j.

Modelul de analiză descris s-a implementat în cadrul programului ordinator ACIREC.

3.4.2.5. **Model de analiză ciclică în formulare variaţională**

S-a arătat, în formularea clasică a analizei ciclice a reţelelor inelare, că relaţiile fundamentale de calcul sunt ecuaţia de continuitate (3.8), ecuaţia de conservare a energiei pe inele (3.9) şi ecuaţia funcţională (3.21), iar determinarea debitelor Q_{ij} pentru care are loc echilibrarea reţelei se efectuează pe criteriul conservării energiei în fiecare inel separat.

Scanned with OKEN Scanner

Se poate ajunge şi la o formulare variaţională a calculului de echilibrare hidraulică a reţelelor inelare în metoda ciclurilor, atunci când determinarea debitelor Q_{ij} se realizează pe criteriul minimizării consumului de energie în reţea, raportată, la unitatea de timp (putere), exprimat analitic prin funcţia obiectiv:

$$F_c = \sum_{ij=1}^{T} \left(\int_0^{Q_{ij}} (Z_i - Z_j) \mathrm{d}Q_{ij} \right) - \sum_{ij=1}^{T} \left(\int_0^{Q_{ij}} H_{p,ij} - \mathrm{d}Q_{ij} \right) - \sum_{j=1}^{N_*} \left(\int_0^{q_{ij}} Z_j^* - \mathrm{d}q_j \right) \to \min \qquad (3.82)$$

supusă la restricţiile (3.8) de continuitate a debitelor în noduri şi în care s-au folosit notaţiile: Z_i, Z_j – cotele piezometrice în nodurile i şi j; $H_{p,ij}$ – înălţimea de refulare a pompelor integrate pe artera ij; N_* – numărul nodurilor de alimentare cu cotele piezometrice Z_j^*.

În relaţia (3.82), funcţionalele din primul termen semnifică pierderea de putere pe tronsoanele reţelei atunci când aceasta transportă debitele rezultate din condiţiile de continuitate, iar funcţionalele din al doilea şi al treilea termen reprezintă aportul de putere provenit din exteriorul sistemului.

Introducând în funcţia obiectiv (3.82) relaţia funcţională (3.21) scrisă sub forma:

$$h_{ij} = Z_i - Z_j = S_{ij} Q_{ij} \left| Q_{ij} \right|^{\beta - 1} \qquad (3.83)$$

şi ţinând seama de relaţia (3.53) de corectare a debitelor în conducte, precum şi de expresia (3.63) a înălţimii de pompare se elimină toate restricţiile, iar determinarea debitelor în reţea se reduce la găsirea minimului unei funcţii de M variabile (ΔQ_m) fără restricţii, care în urma efectuării integralelor devine:

$$F_e = F_{e1} - F_{e2} - F_{e3} \to \min \qquad (3.84)$$

unde:

$$F_{e1} = \frac{1}{\beta + 1} \sum_{ij=1}^{T} S_{ij} \left| Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^{M} \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^{\beta + 1} \qquad (3.85)$$

$$F_{e2} = \sum_{ij=1}^{T} \left(\frac{1}{3} A_{ij} \left| Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^{M} \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^3 + \frac{1}{2} B_{ij} \left| Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^{M} \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^2 + \right.$$

$$\left. + C_{ij} \left| Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^{M} \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right| \right) \qquad (3.86)$$

Scanned with OKEN Scanner

$$F_{e3}=\sum_{j=1}^{N_*} Z_j^* q_j \,. \tag{3.87}$$

Se observă că punând pentru (3.84) condiţiile de extrem $\partial F_e/\partial \Delta Q_m^{\cdot}=0$ ($m=1,...,M$), se obţine, în cazul unei reţele simple, sistemul de ecuaţii (3.54) din formularea clasică a problemei. Formularea variaţională reduce considerabil dimensiunile problemei, ajungându-se de la o funcţie cu T necunoscute şi N-N_{RP} restricţii, la o funcţie doar cu M necunoscute, fără restricţii, devenind astfel avantajoasă prin folosirea unui algoritm specific pentru a minimiza direct funcţia (3.84), cum este algoritmul gradienţilor conjugaţi [214], care s-a implementat în cadrul programului ordinator ACIREV.

Convergenţa procesului de calcul al corecţiilor de debit depinde foarte mult de soluţia iniţială, motiv pentru care se recomandă considerarea mai întâi a corecţiilor obţinute la prima iteraţie a procedeului Lobacev.

Debitele în conducte Q_{ij} se obţin folosind relaţia (3.53), în care se introduc corecţiile ΔQ_m rezultate din minimizarea funcţiei criteriale, iar în final, după calcularea pierderilor de sarcină cu relaţia (3.21), se determină cotele piezometrice Z_j şi presiunile disponibile H_j în noduri cu ajutorul relaţiei (3.81), pornind de la un nod cu cota piezometrică cunoscută.

3.4.3. METODA NODURILOR

3.4.3.1. Principiul metodei

În cazul în care se impune analiza stării de presiune într-o reţea de distribuţie sau când reţeaua conţine diverse elemente potenţiale şi armături este potrivită utilizarea ca necunoscute a cotelor piezometrice, adică a ecuaţiilor nodale.

Relaţia funcţională (3.21) între pierderea de sarcină şi debit se pune sub forma:

$$Q_{ij}=S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}} h_{ij}^{\frac{1}{\beta}}=S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}}\left(Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right)\left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|^{\frac{1-\beta}{\beta}} \tag{3.88}$$

în care Z_i şi Z_j reprezintă cotele piezometrice în nodurile i şi j, iar Π_{ij} – presiunea activă cunoscută, pe tronsonul ij.

Introducând (3.88) în (3.8), ecuaţia de continuitate a debitului devine:

$$f_j=\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N} S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}}\left(Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right)\left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|^{\frac{1-\beta}{\beta}}+q_j=0,\quad (j=1,\ldots,N-N_*) \tag{3.89}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde N_* este numărul nodurilor cu cota piezometrică necesar a fi cunoscută, egal cu numărul surselor de alimentare.

Relaţia (3.89) scrisă pentru toate nodurile N conduce la un sistem de $N–N_*$ ecuaţii neliniare independente, prin rezolvarea căruia se determină cotele piezometrice în $N–N_*$ noduri, în N_* din noduri cota piezometrică fiind necesar a fi cunoscută (cel puţin $N_*=1$), iar apoi se calculează debitele care circulă pe tronsoane, cunoscând configuraţia geometrică a reţelei şi consumurile la noduri.

Principiul metodei nodale constă în considerarea unui set de cote piezometrice iniţiale în noduri ca şi cunoscute, care se corectează succesiv până când reziduul debitelor în noduri f_j devine cât mai mic posibil, iar pentru a realiza acest obiectiv se pretează utilizarea algoritmului numeric Newton-Raphson, cu unele precauţii pentru evitarea punctelor singulare, având în vedere uşurinţa construcţiei şi implementării într-un program ordinator a acestuia.

3.4.3.2. **Algoritmul Newton-Raphson**

Se consideră sistemul de N ecuaţii neliniare cu N necunoscute de forma:

$$f_j(Z_1,Z_2,\ldots,Z_N)=0 \quad (j=1,\ldots,N). \tag{3.90}$$

Ansamblul necunoscutelor $Z_1, Z_2, \ldots, Z_N$ şi al funcţiilor $f_1, f_2, \ldots, f_N$ formează câte un vector $Z = \{Z_1\ Z_2 \ldots Z_N\}^T$; $F = \{f_1 f_2 \ldots f_N\}^T$, astfel încât sistemul (3.90) poate fi scris sub forma matriceală:

$$F(Z)=\{f_1(Z_1,Z_2,\ldots,Z_N),\ldots,f_N(Z_1,Z_2,\ldots,Z_N)\}=0. \tag{3.91}$$

Soluţia sistemului se obţine pornind de la o aproximaţie iniţială a acesteia $Z^{(0)}=\left\{Z_1^{(0)}\ Z_2^{(0)}\ldots Z_N^{(0)}\right\}^T$ la care se adună, succesiv, vectori de corecţie $\Delta Z = \{\delta Z_1\ \delta Z_2 \ldots\ \delta Z_N\}^T$ cu norma descrescătoare, potrivit procesului iterativ:

$$Z^{(k+1)}=Z^{(k)}+\theta\Delta Z^{(k+1)} \tag{3.92}$$

în care coeficientul de pondere $\theta \in (0, 1]$, iar vectorul de corecţie de la iteraţia $(k+1)$ este termenul liniar din dezvoltarea în serie Taylor în jurul lui $Z^{(k-1)}$ a funcţiei vectoriale $F(f_1, f_2, \ldots, f_N)$, având expresia:

$$\Delta Z^{(k+1)}=-\left[J^{(k)}\right]^{-1}F\left(Z^{(k)}\right) \tag{3.93}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde:

$$J^{(k)} = F'\left(Z^{(k)}\right) = \left[\frac{\partial f_i(Z)}{\partial Z_j}\right] \qquad (i,j = 1,\ldots,N) \tag{3.94}$$

poartă numele de matricea Jacobian corespunzătoare vectorului $Z^{(k)}$.

Deoarece algoritmul Newton-Raphson comportă calculul laborios al inversei matricei J la fiecare iteraţie, pentru aplicaţii practice relaţia (3.93) se scrie sub forma:

$$J^{(k)}\Delta Z^{(k+1)} = -F\left(Z^{(k)}\right), \tag{3.95}$$

astfel încât inversarea matricei $J^{(k)}$ la fiecare iteraţie se înlocuieşte cu operaţia ceva mai simplă de rezolvare a unui sistem liniar.

Calculele continuă până când se satisface un criteriu de precizie (valoarea absolută a unei necunoscute Z_j, valorile absolute ale funcţiilor f_j, norma vectorului Z sau numărul de iteraţii):

$$\left|Z_j^{(k)}\right| \le \varepsilon; \left|-f_j^{(k)}\right| \le \varepsilon; \left|\frac{\delta Z_j^{(k)}}{Z_j^{(k)}}\right| \le \varepsilon \ (j = 1,\ldots,N) \tag{3.96}$$

în care ε este eroarea admisă.

3.4.3.3. **Model de analiză nodală a reţelelor inelare**

O reţea de distribuţie a apei pentru un centru populat are o configuraţie cunoscută, rezultată din proiectarea acesteia, şi presiuni de serviciu stabilite în funcţie de regimul de construcţie adoptat. În timp, la reţeaua existentă, se pot adăuga consumatori şi elemente potenţiale care modifică distribuţia iniţială a presiunilor şi, prin urmare, este necesară o analiză în vederea găsirii unor soluţii pentru asigurarea presiunilor de serviciu în toate nodurile de consum.

Folosind un număr suficient de simulări numerice se pot stabili cota piezometrică (cotele piezometrice) a nodului (nodurilor) de alimentare şi alte măsuri necesare pentru asigurarea presiunilor de serviciu, precum şi soluţiile de optimizare energetică a reţelei. În acest scop este eficientă folosirea analizei nodale, în care necunoscutele sunt în general cote piezometrice.

Deşi în metoda nodală numărul ecuaţiilor este mai mare decât în metoda ciclurilor, densitatea elementelor nenule ale matricei ecuaţiilor de nod este mai mică decât cea pentru ecuaţiile pe inele, iar sistemul ecuaţiilor nodale este mai uşor de formulat, furnizând o matrice rară a coeficienţilor.

Scanned with OKEN Scanner

Având în vedere că în ţara noastră analiza reţelelor se efectuează numai cu ajutorul ecuaţiilor de inel, precum şi avantajele metodei nodurilor prezentate anterior, se recomandă abordarea metodei nodale ca mijloc de analiză a reţelelor inelare de distribuţie, extinzând-o la reţelele complexe şi la probleme noi, posibil de rezolvat cu ajutorul ei, în scopul găsirii unor soluţii de optimizare energetică pentru reţelele existente.

Modelul de analiză nodală apelează la următoarele date de bază: topologia reţelei; lungimile, diametrele şi rugozitatea conductelor; cotele geodezice şi debitele concentrate pentru fiecare nod; presiunile active pe tronsoane; cota piezometrică în unul sau mai multe noduri ale reţelei (puncte obligate, instalaţii de punere sub presiune).

• Aplicarea algoritmului Newton–Raphson la sistemul ecuaţiilor nodale presupune următorii paşi principali:

a) stabilirea unei aproximări iniţiale ($k = 0$) a cotelor piezometrice $Z^{(0)} = \left\{ Z_1^{(0)} \;\; Z_2^{(0)} \;\; \dots \;\; Z_N^{(0)} \right\}$, care se realizează din relaţia (3.89), admiţând pentru relaţia (3.88) o formă liniară:

$$\sum_{\substack{i \neq j \\ i=1}}^{N} S_{ij}^{-1} \left(Z_j^{(0)} - Z_i^{(0)} - \Pi_{ij} \right) = q_j^{\beta} \qquad (j = 1, \dots, N - N_*); \tag{3.97}$$

b) determinarea vectorului de corecţie $\Delta Z = \{\delta Z_1 \, \delta Z_2 \dots \delta Z_N\}$ la o iteraţie oarecare (k+1) se face rezolvând sistemul liniar (3.95), ce primeşte forma explicită:

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial f_1}{\partial Z_1} & \cdots & \dfrac{\partial f_1}{\partial Z_N} \\ \vdots & & \vdots \\ \dfrac{\partial f_N}{\partial Z_1} & \cdots & \dfrac{\partial f_N}{\partial Z_N} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta Z_1 \\ \vdots \\ \delta Z_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -f_1 \\ \vdots \\ -f_N \end{Bmatrix} \tag{3.98}$$

unde derivatele parţiale se obţin din (3.89).

Deoarece obligatoriu trebuie impuse cel puţin $N_* = 1$ cote de referinţă, sistemul (3.89) se rezolvă pentru N–N_* necunoscute, unde N_* este numărul cotelor piezometrice cunoscute;

c) modificarea vectorului Z al necunoscutelor potrivit relaţiei (3.92);

d) paşii *b* şi *c* se efectuează iterativ până la *atingerea preciziei de calcul,* stabilită prin condiţia:

$$\left| -f_j^{(k)} \right| \leq \varepsilon \qquad (j = 1, \dots, N - N_*), \tag{3.99}$$

sau a numărului maxim de iteraţii admis.

Scanned with OKEN Scanner

După determinarea cotelor piezometrice Z_j, se pot calcula uşor şi debitele pe tronsoane cu ajutorul relaţiei (3.88), precum şi alţi parametri hidraulici caracteristici reţelei (presiuni disponibile, viteze etc.).

• Deşi ecuaţiile de nod sunt mai uşor de generat, ele sunt însoţite de unele dificultăţi de calcul cum ar fi apariţia oscilaţiilor în jurul soluţiei [55] şi existenţa unor puncte singulare ($Z_i+\Pi_{ij}\cong Z_j$) ale Jacobianului, generate de tronsoanele cu pierderi de sarcină mici.

Pentru a elimina dificultăţile datorate instabilităţii în punctele singulare se procedează la o regularizare de tip spline cubic pentru funcţia de forma $\operatorname{sgn}\left(Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right)\left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|^x$, înlocuind funcţiile $f_i\left(Z_i-Z_j\right)$ exprimate de (3.89), prin funcţiile:

$$f_j=\begin{cases}\displaystyle\sum_{\substack{i\neq j\\ i=1}}^{N} S_{ij}^{-1}\left(Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right)\left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|^{x-1}+q_j=0; & \text{dacă } \left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|>\omega\\ \displaystyle\sum_{\substack{i\neq j\\ i=1}}^{N} \omega^x S_{ij}^{-x}\frac{Z_i-Z_j+\Pi_{ij}}{\omega}\left[(x-1)\left(\frac{Z_i-Z_j+\Pi_{ij}}{\omega}\right)^2+3-x\right]+q_j=0; & \text{dacă } \left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|\leq\omega\end{cases} \tag{3.100}$$

în care $x = 1/\beta$, iar ω se alege în mod convenabil ($10^{-4}...10^{-5}$).

Derivatele parţiale se obţin din (3.100), după cum urmează:

$$\frac{\partial f_j}{\partial Z_i}=\frac{\partial f_i}{\partial Z_j}=\begin{cases}xS_{ij}^{-x}\left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|^{x-1}; & \left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|>\omega\\ \omega^x S_{ij}^{-x}\left[\dfrac{3}{\omega}(x-1)\left(\dfrac{Z_i-Z_j+\Pi_{ij}}{\omega}\right)^2+\dfrac{3-x}{\omega}\right]; & \left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|\leq\omega\end{cases} \tag{3.101}$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial Z_j}=-\sum_{\substack{i\neq j\\ i=1}}^{N}\frac{\partial f_j}{\partial Z_i}. \tag{3.102}$$

• Din examinarea relaţiei (3.89) se observă că satisfacerea continuităţii debitelor în noduri se poate realiza admiţând ca variabile, nu numai cotele piezometrice Z_j, ci şi rezistenţele hidraulice S_{ij} şi debitele concentrate în noduri q_j, cu condiţia ca suma tuturor acestor necunoscute să fie $N–N_*$, astfel încât utilizarea modelului poate fi extinsă la rezolvarea de noi probleme.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se notează necunoscutele astfel: cotele piezometrice cu $\overline{Z}=\{Z_1...Z_w\}$, rezistenţele hidraulice cu $\overline{S}=\{S_{ij}...S_{pr}\}$ şi debitele concentrate în noduri cu $\overline{q}=\{q_j...q_n\}$, atunci pornind de la vectorul lor iniţial $X^{(0)}=\{Z_1^{(0)}...Z_w^{(0)}S_{ij}^{(0)}...S_{pr}^{(0)}q_j^{(0)}...q_n^{(0)}\}$, se determină corecţiile la fiecare iteraţie din sistemul:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial q_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_{w+1}}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_{w+1}}{\partial q_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial q_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta Z_1 \\ \vdots \\ \delta S_{ij} \\ \vdots \\ \delta q_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -f_1 \\ \vdots \\ -f_{w+1} \\ \vdots \\ -f_N \end{Bmatrix} \tag{3.103}$$

în care derivatele parţiale referitoare la S_{ij} şi q_j au expresiile:

$$\frac{\partial f_j}{\partial S_{ij}} = \begin{cases} -xS_{ij}^{-(x+1)}\left(Z_i - Z_j + \Pi_{ij}\right)\left|Z_i - Z_j + \Pi_{ij}\right|^{x-1}; & \left|Z_i - Z_j + \Pi_{ij}\right| > \\ -x\omega^{-x}S_{ij}^{-(x+1)}\dfrac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\left[(x-1)\left(\dfrac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\right)^2 + 3 - x\right]; & \\ \left|Z_i - Z_j + \Pi_{ij}\right| \le \omega & \end{cases} \tag{3.104}$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial q_j} = 1. \tag{3.105}$$

Sistemul de ecuaţii (3.103) nu are soluţie pentru orice combinaţie a necunoscutelor, la alegerea acestora trebuind să se respecte unele reguli, rezultate din neadmiterea existenţei de linii sau coloane în matricea sistemului cu toţi termenii nuli, după cum urmează:

– la fiecare nod trebuie să existe cel puţin una din necunoscutele: debit concentrat în nod, cotă piezometrică în nodul respectiv sau la oricare nod adiacent, rezistenţă hidraulică a oricărui tronson care concură în nod;

– un nod care are debitul concentrat necunoscut trebuie conectat la cel puţin un alt nod cu debit cunoscut;

– un tronson de conductă cu rezistenţă hidraulică necunoscută nu trebuie să aibă mai mult de o necunoscută la nodurile care îl definesc, aceasta putând fi cota piezometrică sau debitul consumat în nod.

Scanned with OKEN Scanner

La aplicarea algoritmului Newton–Raphson pentru rezolvarea sistemului de ecuaţii neliniare (3.100) se ţine seama de avantajele:

– matricea Jacobian conţine cel mult $N+2T$ elemente nenule, ceea ce îi conferă proprietatea de a fi *rară*;

– în majoritatea cazurilor această matrice este simetrică, ireductibilă şi slab dominant diagonală, ceea ce asigură existenţa matricei inverse;

– mai mult, matricea inversă este o matrice pozitivă, proprietate ce conferă calităţi de stabilitate numerică în rezolvarea sistemului algebric liniar (3.103) la fiecare iteraţie a algoritmului Newton-Raphson.

Pe baza modelului de analiză nodală descris s-a elaborat programul ordinator ANOREC.

3.4.3.4. **Formularea variaţională a analizei nodale**

Folosind ecuaţiile (3.9) de conservare a energiei pe inele ca restricţii împreună cu funcţia criterială:

$$F_e=\sum_{ij=1}^{T}\left(\int_0^{h_{ij}}Q_{ij}\,\mathrm{d}h_{ij}\right)-\sum_{j=1}^{N}\left(\int_0^{Z_j}q_j\,\mathrm{d}Z_j\right)\rightarrow\min \qquad (3.106)$$

în care notaţiile au semnificatiile anterioare, se poate ajunge la o formulare variaţională a calculului de echilibrare hidraulică a reţelelor inelare şi în metoda nodală.

În urma introducerii în funcţia obiectiv (3.106) a relaţiei funcţionale sub forma (3.88) şi a efectuării integralelor se elimină restricţiile, iar problema se reduce la găsirea minimului unei funcţii de N-N_* variabile (Z_i, Z_j) fără restricţii:

$$F_e=\frac{\beta}{\beta+1}\sum_{ij=1}^{T}S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}}\left|Z_i-Z_j+\Pi_{ij}\right|^{\frac{\beta+1}{\beta}}-\sum_{j=1}^{N}q_jZ_j\rightarrow\min, \qquad (3.107)$$

care se poate realiza folosind algoritmul gradienţilor conjugaţi.

Se observă că punând condiţiile de extrem $\partial F_e / \partial Z_j=0$ ($j = 1, \ldots, N–N_*$) se obţine sistemul de ecuaţii nodale (3.89).

Având determinate cotele piezometrice în noduri, se calculează presiunile disponibile şi apoi debitele de tranzit în conducte cu relaţia (3.88), precum şi alţi parametri hidraulici ai reţelei.

Pe baza acestui model de calcul al regimului hidraulic în reţele inelare s-a elaborat programul ordinator ANOREV.

Scanned with OKEN Scanner

3.4.4. METODA TRONSOANELOR

3:4.4.1. Principiul metodei

În cazul ecuațiilor de tronson, se dispune de $N–N_*$ ecuații de nod independente (3.8), liniare în raport cu debitul, și de M ecuații de inel (3.9) neliniare, care însă se liniarizează scriind relația funcțională (3.21) sub forma:

$$h_{ij} = S_{ij} Q_{ij} \left| Q_{ij} \right|^{\beta-1} = K_{ij} Q_{ij} \qquad (3.108)$$

unde toți coeficienții K_{ij} se calculează la fiecare iterație cu noile debite [250], [251]. Acest procedeu nu necesită o evaluare inițială pentru necunoscute.

3.4.4.2. Modelul „conținut" de analiză pe tronsoane

Dacă pentru rețelele inelare de distribuție a apei se folosesc în loc de relațiile (3.8), (3.9) și (3.21), așa cum se face în mod obișnuit, relațiile (3.8), (3.21) și o funcție de performanță ce exprimă conținutul energetic al rețelei, analiza rețelei se poate efectua cu un model de optimizare condiționată denumit modelul „conținut" [15], [42].

Determinarea debitelor Q_{ij} pentru care are loc echilibrarea rețelei se realizează pe criteriul minimizării conținutului de energie al întregii rețele raportată la unitatea de timp, care pentru structurile cu elemente potențiale (pompe integrate pe artere, rezervoare și pompe în noduri) se exprimă analitic prin funcția obiectiv:

$$F_e = \sum_{ij=1}^{T} \left[\int_0^{Q_{ij}} (Z_i - Z_j) \mathrm{d}Q_{ij} - \int_0^{Q_{ij}} H_{\mathrm{p},ij} \mathrm{d}Q_{ij} \right] - \sum_{j=1}^{N_*} \left(\int_0^{q_j} Z_j^* \mathrm{d}q_j \right) \to \min \qquad (3.109)$$

supusă la restricțiile (3.8) și

$$Q_{ij} \geq 0, \qquad (3.110)$$

unde N_* este numărul nodurilor de alimentare cu cotele piezometrice Z_j^*, iar restul notațiilor folosite au semnificațiile menționate anterior.

Ținând seama de relația funcțională (3.21) și de relația (3.63) de aproximare a înălțimii de refulare a pompelor integrate pe artere, în urma efectuării integralelor din (3.109), expresia funcției criteriale devine:

$$F_e = \sum_{ij=1}^{T} \left[\frac{1}{\beta+1} S_{ij} Q_{ij}^{\beta+1} - \left(\frac{1}{3} A_{ij} Q_{ij}^3 + \frac{1}{2} B_{ij} Q_{ij}^2 + C_{ij} Q_{ij} \right) \right] - \sum_{j=1}^{N_*} Z_j^* q_j \to \min, \qquad (3.111)$$

Scanned with OKEN Scanner

iar împreună cu restricţiile (3.8) şi (3.110) formează un model de programare neliniară, ce poate fi rezolvat aplicând algoritmul gradienţilor condiţionaţi.

Având determinată repartiţia debitelor pe tronsoane, după calcularea pierderilor de sarcină cu relaţia (3.21), se determină cotele piezometrice Z_j şi presiunile disponibile H_j în noduri, pornind de la un nod cu cota piezometrică cunoscută, iar apoi se obţin şi alţi parametri hidraulici.

3.4.5. APLICAŢII NUMERICE

Pentru exemplificarea aplicării modelelor de analiză descrise anterior şi efectuarea unor studii comparative, se consideră două reţele inelare de distribuţie a apei cu topologii şi dimensiuni diferite, realizate din fontă, care se vor urmări ca exemple şi în aplicarea modelelor de dimensionare prezentate în următoarele paragrafe.

• *Determinarea sarcinii de pompare şi a repartiţiei debitelor şi presiunilor într-o reţea simplă.* Pentru reţeaua de alimentare cu apă cu configuraţia din figura 3.10, ce distribuie un debit de 0,41 m^3/s, având cunoscute: lungimile L_{ij} [m] şi diametrele D_{ij} [mm] tronsoanelor, debitele industriale consumate, concentrate în noduri q_j [m^3/s]; cotele geodezice în noduri ZT_j [m], cota piezometrică a nodului obligat $Z_1 = 124$ m; exponentul $\beta = 1{,}936$, se pune problema determinării sarcinii de pompare şi a regimului debitelor şi al presiunilor, aplicând atât procedeul uzual Lobacev, cât şi modelele elaborate pentru analiza ciclică şi nodală în formulare clasică şi variaţională.

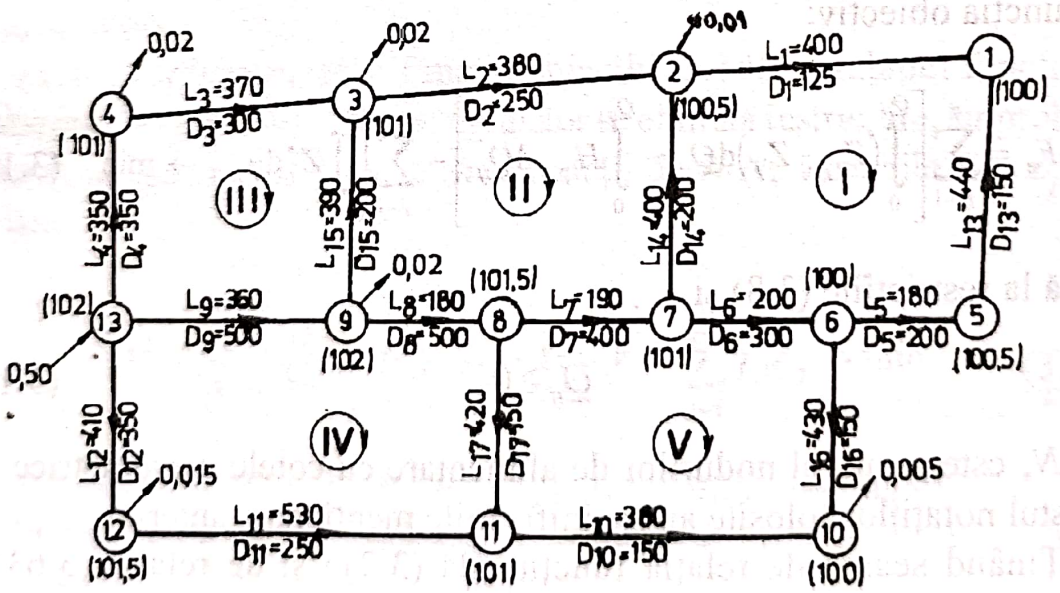


Fig. 3.10 – Schema reţelei inelare ($M = 5$, $N = 13$, $T = 17$) de distribuţie.

În tabelul 3.3 se prezintă debitele şi pierderile de presiune pe tronsoane, stabilite cu ajutorul programelor ACIRECS, ACIREC, ACIREV, ANQREC şi ANOREV, constatându-se că valorile obţinute sunt foarte apropiate între

ele. Astfel, diferenţa între debite la aplicarea celor patru modele de calcul faţă de procedeul Lobacev (programul ACIRECS) variază între 0 % (tronsonul 9–8), la folosirea modelului ACIREV, şi 1,8 % (tronsonul 8–11) la utilizarea modelului ANOREC, datorită gradului de precizie diferit.

Tabelul 3.3

Debitele şi pierderile de sarcină pe tronsoane

Trons. *i-j*	Modelul de analiză									
	ACIRECS		ACIREC		ACIREV		ANOREC		ANOREV	
	Q[m³/s]	h[m]	Q[m³/s]	h[m]	Q[m³/s]	h[m]	Q[m³/s]	h[m]	Q [m³/s]	h[m]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2–1	0,01210	3,955	0,01209	3,949	0,01219	4,007	0,01219	3,754	0,01204	3,915
3–2	0,03618	0,895	0,03608	0,890	0,03616	0,894	0,03616	0,915	0,03605	0,889
4–3	0,06957	1,217	0,06917	1,203	0,06902	1,198	0,06902	1,251	0,06916	1,203
13–4	0,11413	1,369	0,11373	1,359	0,11358	1,356	0,11358	1,437	0,11371	1,356
6–5	0,03770	1,443	0,03771	1,443	0,03761	1,437	0,03762	1,428	0,03776	1,447
7–6	0,08206	0,907	0,08199	0,906	0,08174	0,900	0,08174	0,938	0,08206	0,907
8–7	0,13518	0,521	0,13520	0,521	0,13496	0,519	0,13496	0,559	0,13531	0,521
9–8	0,17542	0,261	0,17547	0,262	0,17542	0,261	0,17544	0,288	0,18034	0,276
13–9	0,25264	1,064	0,25299	1,067	0,25317	1,069	0,25318	1,172	0,25266	1,065
11–10	0,01589	2,495	0,01597	2,518	0,01613	2,568	0,01614	2,469	0,01610	2,558
12–11	0,04797	2,156	0,04802	2,160	0,04799	2,158	0,04798	2,206	0,04806	2,163
13–12	0,09503	1,122	0,09508	1,123	0,09505	1,123	0,09504	1,192	0,09501	1,122
5–1	0,01655	3,124	0,01656	3,127	0,01647	3,094	0,01647	2,972	0,01661	3,147
7–2	0,02618	1,578	0,02626	1,588	0,02628	1,590	0,02628	1,584	0,02625	1,587
9–3	0,02549	1,461	0,02579	1,495	0,02602	1,521	0,02603	1,516	0,02579	1,495
6–10	0,01673	3,120	0,01666	3,092	0,01649	3,034	0,01649	2,910	0,01661	3,075
8–11	0,01329	1,951	0,01332	1,958	0,01351	2,014	0,01353	1,938	0,01327	1,945

În tabelul 3.4 sunt înscrise valorile cotelor piezometrice Z_j şi a presiunilor disponibile H_j în noduri, determinate cu modelele de analiză menţionate.

Pentru cota piezometrică necesară în nodul de alimentare se obţin valorile: 131,435 m; 131,402 m; 131,455 m; 131,356 m; 131,363 m, puţin diferite între ele, asigurând în nodul de alimentare 13 o presiune disponibilă corespunzătoare de: 29,435 m; 29,402 m; 29,455 m; 29,356 m; 29,363 m, pentru alimentarea cu apă a consumatorilor.

De asemenea, se constată că neînchiderea Δh a liniei de presiune pe conturul reţelei variază de la 0,216 m, la folosirea procedeului Lobacev, până la anulare, la aplicarea modelului ANOREC (tab. 3.5), în toate cazurile însă fiind sub limita de 0,5 m prescrisă de normativele în vigoare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.4

Cotele piezometrice şi presiunile disponibile în noduri

Nod j	Modelul de analiză									
	ACIRECS		ACIREC		ACIREV		ANOREC		ANOREV	
	Z_j [m]	H_j [m]	Z_j [m]	H_j [m]	Z_j [m]	H_j [m]	Z_j [m]	H_j [m]	Z_j [m]	H_j [m]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	124,000	24,000	124,000	24,000	124,000	24,000	124,000	24,000	124,000	24,000
2	127,955	27,455	127,949	27,449	128,007	27,507	127,754	27,254	127,915	27,415
3	128,850	27,850	128,839	27,839	128,901	27,901	128,668	27,668	128,804	27,804
4	130,066	29,066	130,042	29,042	130,099	29,099	129,920	28,920	130,007	29,007
5	127,124	26,624	127,127	26,627	127,094	26,594	126,972	26,472	127,147	26,647
6	128,566	28,566	128,571	28,571	128,530	28,530	128,399	28,399	128,594	28,594
7	129,533	28,533	129,537	28,537	129,597	28,597	129,338	28,338	129,502	28,502
8	130,053	28,553	130,058	28,558	130,116	28,616	129,896	28,396	130,023	28,523
9	130,371	28,371	130,335	28,335	130,386	28,386	130,184	28,184	130,299	28,299
10	125,446	25,446	125,478	25,478	125,497	25,497	125,490	25,490	125,520	25,520
11	128,157	27,157	128,118	27,118	128,175	27,175	127,958	26,958	128,078	27,078
12	130,313	28,813	130,278	28,778	130,332	28,832	130,165	28,665	130,241	28,741
13	131,435	29,435	131,402	29,402	131,455	29,455	131,356	29,356	131,363	29,363

Tabelul 3.5

Neînchiderea liniei de presiune pe conturul reţelei

Modelul	ACIRECS	ACIREC	ACIREV	ANOREC	ANOREV
$\lvert\Delta h\rvert$ [m CA]	0,216	0,122	0,109	0,000	0,001

- *Ilustrarea comportării conductelor unei reţele de distribuţie în legătură cu regimul de curgere a apei.* Pentru ilustrarea comportării conductelor, în legătură cu regimul de curgere a apei, se apelează la acelaşi exemplu de reţea din figura 3.10 şi se determină cu ajutorul programului ACIREC caracteristicile hidraulice ale conductelor, considerând regimul de curgere atât turbulent tranzitoriu ($\beta = 1{,}936$) cât şi turbulent pătratic ($\beta = 2$), rezultatele calculelor fiind prezentate în tabelul 3.6. Se constată că, pentru toate tronsoanele reţelei, în ambele regimuri de mişcare considerate criteriul Moody satisface relaţia: $14 < \mathrm{Re}\sqrt{\lambda}\Delta/D < 200$, ceea ce demonstrează că în realitate conductele reţelei funcţionează în domeniul turbulenţei tranzitorii. În cazul regimului pătratic se obţin pierderi de sarcină sporite pe tronsoane, conducând la mărirea cotei piezometrice Z_{13} în nodul de alimentare, de la 131,402 m la 134,135 m, şi la creşterea presiunilor disponibile în nodurile reţelei, şi deci, implicit, la un consum suplimentar de energie de pompare. Astfel, consumul specific de energie pentru distribuţia apei în reţea w_{sd} creşte cu 25,8 %, de la 0,00705 kWh/m^3 la 0,00951 kWh/m^3.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.6

Caracteristicile hidraulice ale conductelor

Trons. *i-j*	Regimul de curgere							
	Turbulent tranzitoriu				Turbulent pătratic			
	Q [m³/s]	h [m]	V [m/s]	$\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}\cdot\Delta/D$	Q [m³/s]	h [m]	V [m/s]	$\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}\cdot\Delta/D$
0	1	2	3	4	5	6	7	8
2-1	0,01209	3,949	0,99	34,6	0,01192	5,528	0,97	40,7
3-2	0,03608	0,890	0,74	23,7	0,03582	1,179	0,73	27,3
4-3	0,06917	1,203	0,98	30,6	0,06897	1,611	0,98	35,6
13-4	0,11373	1,359	1,18	36,1	0,11353	1,816	1,18	41,8
6-5	0,03771	1,443	1,20	39,2	0,03788	2,053	1,21	47,0
7-6	0,08199	0,906	1,16	36,1	0,08219	1,237	1,16	42,1
8-7	0,13520	0,521	1,08	32,6	0,13549	0,689	1,08	37,4
9-8	0,17547	0,262	0,89	26,3	0,17572	0,334	0,90	30,0
13-9	0,25299	1,067	1,29	37,78	0,25317	1,388	1,29	43,0
11-10	0,01597	2,518	0,90	31,0	0,01595	3,557	0,90	36,6
12-11	0,04802	2,160	0,98	31,3	0,04803	2,958	0,98	36,7
13-12	0,09508	1,123	0,99	30,4	0,09509	1,492	0,99	35,0
5-1	0,01656	3,127	0,94	32,1	0,01673	4,537	0,95	38,7
7-2	0,02626	1,588	0,88	27,8	0,02635	2,207	0,84	32,6
9-3	0,02579	1,495	0,82	27,1	0,02573	2,052	0,82	31,8
6-10	0,01666	3,092	0,94	32,1	0,01668	4,407	0,94	38,3
8-11	0,01332	1,958	0,75	26,1	0,01328	2,728	0,75	30,5
Z_{13}[m]	131,402				134,135			
w_{sd} [kWh/m³]	0,00705				0,00951			

De aceea se impune luarea în considerare, la calculul hidraulic al reţelelor de distribuţie, a regimului turbulent tranzitoriu de curgere a apei, ţinând seama şi de facilitătile oferite de calculatoarele numerice.

- *Analiza comparativă a stării de presiune într-o reţea inelară alimentată din două surse.* Pentru reţeaua inelară cu configuraţia din figura 3.11 ce distribuie un debit de 1,22 m³/s provenit de la două surse de alimentare, având cunoscute cotele piezometrice în nodurile de alimentare Z_{21} = 139,50 m, Z_{32} = 139,58 m şi presiunea de serviciu H_{nec} = 24 m, se efectuează analiza comparativă a stării de presiune aplicând programele de analiză ciclică sau nodală, în formulare clasică şi variaţională ACIREC, ACIREV, ANOREC şi ANOREV.

În tabelul 3.7 se prezintă cotele piezometrice Z_j şi presiunile disponibile H_j în nodurile reţelei, constatându-se o bună apropiere între rezultatele obţinute prin aplicarea modelelor menţionate.

Scanned with OKEN Scanner

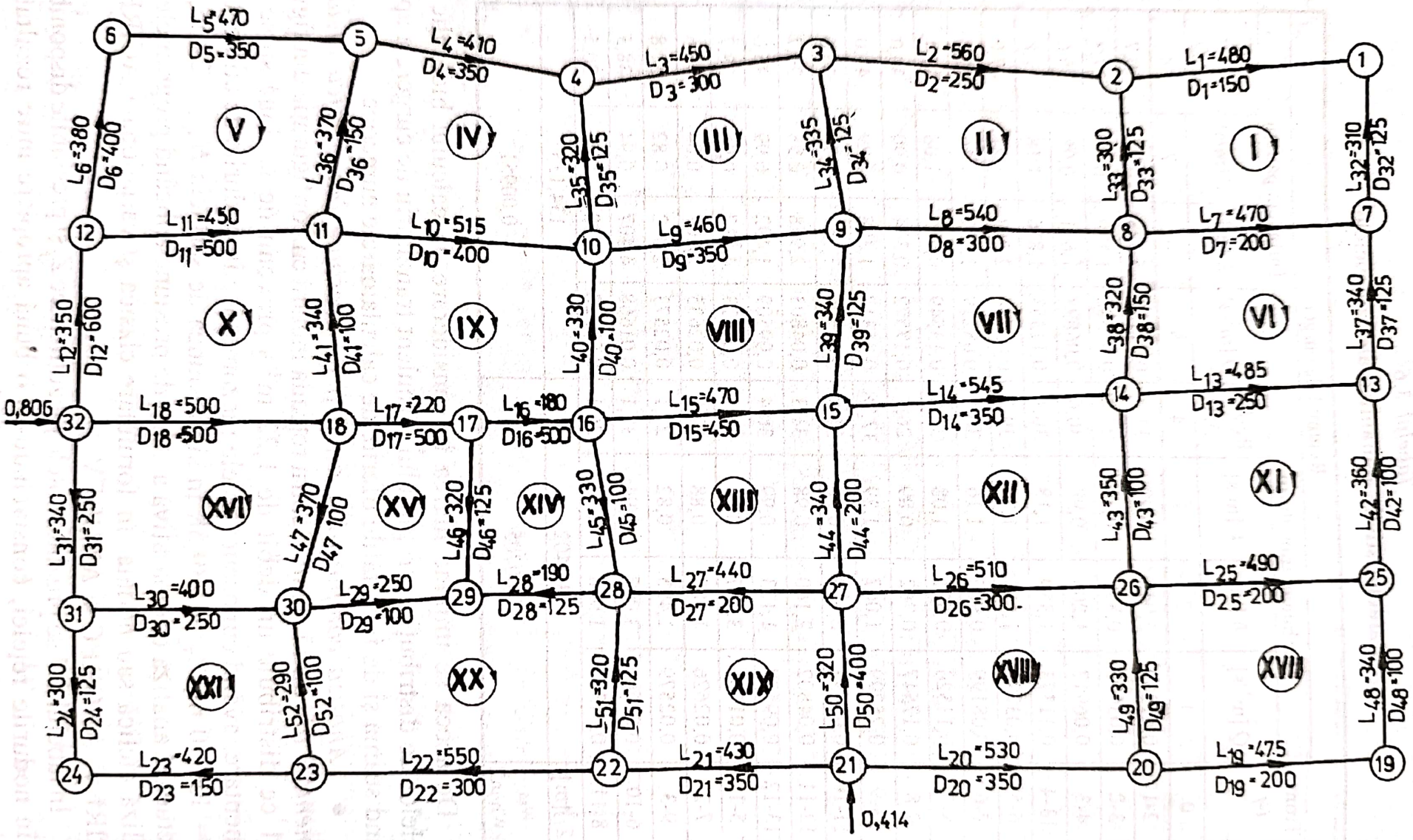


Fig. 3.11 – Schema rețelei inelare (M= 22, N= 32, T= 52) de distribuție.

Tabelul 3.7

Cotele piezometrice și presiunile disponibile în noduri

Nod j	ZT_j [m]	Modelul de analiză							
		ACIREC		ACIREV		ANOREC		ANOREV	
		Z_j [m]	H_j [m]	Z_j [m]	H_j [m]	Z_j [m]	H_j [m]	Z_j [m]	H_j [m]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	103,0	127,415	24,415	127,295	24,295	127,493	24,493	127,419	24,419
2	103,1	129,788	26,688	129,645	26,545	129,683	26,583	129,791	26,691
3	103,5	131,782	28,282	131,614	28,414	131,639	28,139	131,784	28,284
4	103,8	133,595	29,795	133,405	29,605	133,452	29,652	133,597	29,797
5	104,3	134,941	30,641	134,668	30,368	134,818	30,518	134,940	30,640
6	104,8	137,177	32,377	137,211	32,411	137,067	32,267	137,179	32,379
7	103,0	129,573	26,573	129,596	26,596	129,457	26,457	129,574	26,574
8	103,2	131,584	28,384	131,570	28,370	131,368	28,168	131,588	28,388
9	103,6	133,308	29,708	133,260	29,660	133,086	29,486	133,312	29,712
10	104,0	135,172	31,172	135,090	31,090	134,970	30,970	135,177	31,177
11	104,5	137,349	32,849	137,236	32,736	137,206	32,706	137,360	32,860
12	104,5	138,483	33,983	138,495	33,995	138,406	33,906	138,501	34,001
13	103,2	131,991	28,791	132,272	29,072	131,764	28,564	131,992	28,792
14	103,4	134,056	30,656	134,310	30,910	133,790	30,390	134,061	30,661
15	103,2	136,143	32,343	136,386	32,536	135,927	32,127	136,150	32,350
16	104,0	136,955	32,955	137,182	33,182	136,782	32,782	136,964	32,964
17	104,5	137,275	32,775	137,293	32,793	137,122	32,622	137,278	32,278
18	105,0	137,803	32,803	137,814	32,814	137,685	32,685	137,806	32,806
19	103,5	135,862	32,362	135,751	32,251	135,688	32,188	135,893	32,393
20	103,9	138,443	34,543	138,407	34,507	138,240	34,340	138,481	34,581
21	104,0	139,531	35,531	139,524	35,524	139,386	35,386	139,563	35,563
22	104,4	138,077	33,677	138,059	33,659	137,896	33,496	138,111	33,711
23	104,8	136,898	32,098	136,878	32,078	136,720	31,920	136,927	32,127
24	104,9	134,937	30,037	134,951	30,051	134,989	30,089	134,948	30,048
25	103,4	132,833	29,433	133,036	29,636	132,720	29,320	132,838	29,438
26	103,6	135,808	32,208	136,047	32,447	135,603	32,003	135,819	32,219
27	104,1	137,863	33,763	138,107	34,007	137,676	33,576	137,878	33,778
28	104,3	135,451	31,151	135,734	31,434	135,426	31,126	135,452	31,152
29	104,6	134,645	30,045	134,500	29,900	134,721	30,121	134,655	30,055
30	104,9	135,568	30,668	135,459	30,559	135,591	30,691	135,569	30,669
31	104,0	136,396	32,396	136,404	32,404	136,413	32,413	136,404	32,404
32	102,0	139,580	37,580	139,580	37,580	139,580	37,580	139,580	37,580
w_{sd} [kWh/m^3]		0,01172		0,01173		0,01197		0,01175	

Cotele piezometrice la surse asigură în nodurile de intrare 21 și 32 presiuni disponibile de 35,50 m și respectiv 37,58 m, care sunt suficiente pentru alimentarea cu apă a consumatorilor, deoarece presiunile disponibile în toate nodurile de consum sunt superioare presiunii de serviciu.

Scanned with OKEN Scanner

Apa este distribuită la consumatori cu un consum specific de energie de aproximativ 0,012 kWh/m^3.

• *Variaţia numărului de iteraţii cu precizia de calcul la aplicarea programelor ACIRECS şi ACIREC.* Pentru a pune în evidenţă modul de variaţie a numărului de iteraţii cu precizia de calcul a corecţiilor ciclice de debite la aplicarea modelelor de analiză ACIRECS şi ACIREC se apelează la acelaşi exemplu de reţea din figura 3.11.

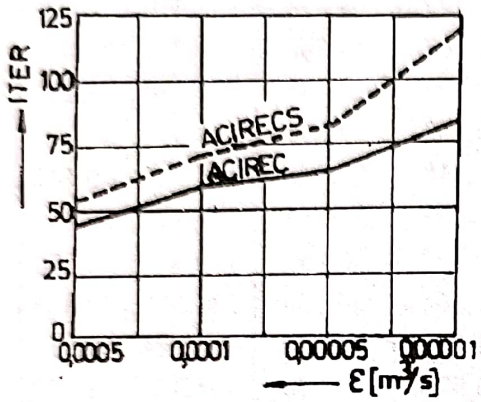


Fig. 3.12 Variaţia numărului de iteraţii cu precizia de calcul

Din reprezentarea grafică a rezultatelor calculului în figura 3.12, reiese că la aceeaşi valoare limită a corecţiilor de debite ε numărul iteraţiilor ITER efectuate la aplicarea modelului ACIRECS este mai mare faţă de cel obţinut la folosirea modelului ACIREC, cu atât mai mult cu cât precizia creşte. La aplicarea modelului de analiză ciclică în formulare clasică perfecţionată ACIREC rezultă că, pentru valori limită a corecţiilor de debite sub 0,00005 m^3/s, se obţin divergenţe totale Δh, ce se înscriu sub limita admisă de 0,5 m (fig. 3.13) şi că, pe măsura sporirii preciziei, se înregistrează creşteri ale consumului specific de energie pentru distribuţie, care însă sunt neesenţiale (cca 0,08 % pentru mărirea preciziei ε de la 0,00005 m^3/s la 0,00001 m^3/s).

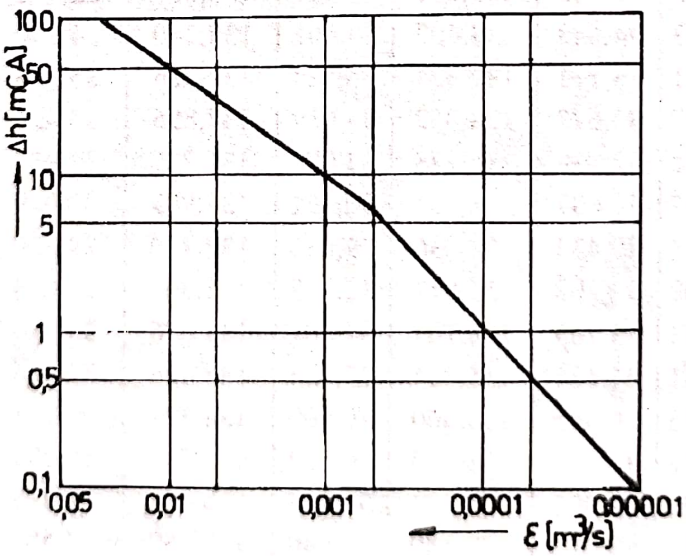


Fig. 3.13 – Evoluţia procesului de calcul la aplicarea modelului ACIREC.

Rezultatele obţinute în cadrul aplicaţiilor numerice abordate elucidează valabilitatea modelelor şi programelor concepute pentru analiza reţelelor inelare de distribuţie a apei.

Scanned with OKEN Scanner

3.4.6. CONCLUZII

Cele trei metode de analiză a reţelelor inelare (ciclică, nodală, de tronson) sunt echivalente teoretic, modelul matematic al tuturor constituindu-se pe baza ecuaţiilor de conservare a debitelor în noduri şi a energiei pe inele alături de relaţia funcţională pierdere de sarcină–debit în elementele componente ale reţelei.

Metoda ciclurilor are avantajul că foloseşte cel mai mic număr de ecuaţii, egal cu numărul inelelor independente M ($M \cong N/3...N/2$), şi este superioară metodei nodale în ceea ce priveşte convergenţa şi stabilitatea numerică, însă se poate folosi, îndeosebi, pentru analiza reţelelor care utilizează ca necunoscute debitele pe tronsoane. Se pretează bine în cadrul unor modele de proiectare a reţelelor inelare la echilibrarea debitelor în reţea.

În cazul în care necunoscutele unei reţele de distribuţie sunt cotele piezometrice în noduri, cum este, în general, cazul extinderilor sau reconsiderărilor de reţele, este de preferat ca mijloc de analiză metoda nodală.

Prin posibilitatea de introducere ca necunoscute a consumurilor în noduri şi a rezistenţelor hidraulice ale unor conducte, analiza nodală oferă o elasticitate mai mare în comparaţie cu analiza ciclică şi îşi extinde folosirea la noi probleme, cum sunt studierea unei reţele existente în vederea stabilirii posibilităţilor de racordare a noi consumatori sau a identificării rezistenţelor hidraulice, alături de determinarea stării de presiune în reţea în scopul asigurării presiunii de serviciu.

Arătând posibilitatea abordării diferite de formularea clasică a problemei analizării reţelelor inelare, s-a elaborat câte un model de analiză ciclică şi respectiv nodală în formulare variaţională, bazate pe procedee de optimizare necondiţionată. Aceste modele înlocuiesc rezolvarea sistemului de ecuaţii neliniare (3.8), (3.9), (3.21) cu minimizarea directă a unei funcţii criteriale multivariabile, fără restricţii, ce exprimă consumul energetic în reţea. Programele ordinatoare ACIREV şi ANOREV includ acest aspect particular, având implementat algoritmul gradienţilor conjugaţi, ceea ce le conferă eficienţă în abordarea analizei reţelelor de distribuţie a apei de dimensiuni apreciabile.

Modelele de analiză ciclică şi nodală în formulare variaţională folosesc ca necunoscute debitele pe inele, respectiv cotele piezometrice în noduri, la fel ca în formularea clasică şi au un element comun cu modelul „conţinut" în sensul că problema este formulată ca minimul unei funcţii criteriale. Faţă de modelul „conţinut" nu necesită a se cunoaşte aprioric sensul de curgere pe fiecare tronson. De asemenea, ele reduc efortul de programare şi zona de memorie ocupată în comparaţie chiar şi cu modelele corespunzătoare în formulare clasică.

Scanned with OKEN Scanner

Avantajele şi dezavantajele utilizării modelelor de analiză în formulare variaţională comparativ cu modelele clasice pot fi puse în evidenţă mai pregnant numai după o experienţă semnificativă, dobândită în analiza reţelelor de distribuţie folosind aceste modele.

Deoarece în ţara noastră analiza reţelelor de alimentare cu apă se efectuează numai cu ajutorul analizei ciclice, se recomandă o diversificare a mijloacelor de calcul prin folosirea şi a celorlalte sisteme de ecuaţii.

3.5. PROIECTAREA OPTIMALĂ A REŢELELOR COMPLEXE DE DISTRIBUŢIE A APEI

3.5.1. GENERALITĂŢI

Proiectarea reţelelor inelare de distribuţie a apei a ridicat întotdeauna probleme dificile în faţa specialiştilor, atât prin formularea modelului matematic, cât şi prin volumul mare de lucru pe care îl implică.

Complexitatea mare a calculului reţelelor de distribuţie a condus la două tendinţe diferite de tratare a acestor probleme, una de a considera sisteme simple, dar în condiţii de funcţionare complexe, şi alta de a trata sisteme complexe, adoptând însă numeroase ipoteze simplificatoare referitoare la: configuraţia geometrică a reţelei; legea de curgere a apei în conducte; numărul de situaţii funcţionale analizate; legea consumului de debit; precizia admisă pentru respectarea ecuaţiilor de continuitate a debitelor şi a liniilor piezometrice.

Intervenţia calculatoarelor a eliberat proiectantul de unele dificultăţi de calcul şi se manifestă printr-o substanţială modificare a concepţiei de calcul şi chiar a concepţiei de proiectare. De asemenea, disciplinele matematice moderne prin calculul operaţional pun la îndemâna proiectantului un vast aparat de analiză ştiinţifică în stabilirea deciziilor optime pentru problemele proiectării sistemelor de distribuţie a apei. O mare contribuţie în calculul optimal al acestor sisteme o aduce crearea programării matematice şi a teoriei grafurilor, lărgindu-se aria de modelare a problemelor optimizării. Acest avantaj devine operaţional prin formularea funcţiei obiectiv, astfel încât să exprime un criteriu de optimizare cât mai complex, cât şi prin stabilirea restricţiilor de aşa manieră încât soluţia acceptabilă să simuleze cât mai fidel comportarea reală a reţelei.

Având în vedere că modelele de analiză a reţelelor inelare îşi concentrează eforturile îndeosebi asupra eficientizării algoritmului matematic de rezolvare, facilităţile oferite de calculatoarele numerice şi de tehnicile moderne de calcul trebuie să fie folosite în special pentru o sinteză (proiectare) optimală a soluţiei tehnice şi economico-energetice.

Scanned with OKEN Scanner

În acest context, unul din obiectivele principale ale lucrării îl constituie formularea unor modele de optimizare a proiectării reţelelor de distribuţie a apei şi elaborarea unor programe de calcul, care să conducă la rezultate superioare în comparaţie cu alte modele de calcul uzuale sau existente în literatura tehnică de specialitate.

3.5.2. MODEL DE OPTIMIZARE A TRASEULUI REŢELELOR RAMIFICATE

În multe cazuri un sistem de distribuţie a apei este caracterizat în faza iniţială de consumuri mai mici, deservind un teritoriu restrâns, iar o dată cu sporirea consumului în timp şi cu extinderea vetrei alimentate, încărcarea hidraulică a sistemului creşte, fiind necesar ca arterele realizate iniţial să corespundă şi în dezvoltarea de perspectivă. În această situaţie soluţia raţională de realizare a unor reţele noi se prezintă, în general, ca soluţie optimă a unei reţele de bază ramificată, care ulterior urmează a se transforma într-o reţea inelară cu capacitate şi securitate mărită. De asemenea, sporirea convergenţei modelului de analiză ciclică a reţelelor inelare implică determinarea traseului optim al reţelei de bază, virtual ramificate, pe criteriul minimului sumei rezistenţelor hidraulice.

Având în vedere că această problemă de optimizare poate avea una sau mai multe soluţii şi că algoritmii cunoscuţi [112], [214] pentru rezolvarea ei determină, de regulă, o singură soluţie care, în anumite situaţii [159], se dovedeşte a nu fi optimă, s-a conceput un algoritm bazat pe teoria grafurilor, care generează toţi arborii minimi. Modelarea problemei se realizează prin reprezentarea grafului conex neorientat alcătuit din: instalaţia de punere sub presiune ca origine, nodurile de consum ca vârfuri şi traseele arterelor ce unesc aceste puncte ca muchii.

Fie graful conex neorientat [214], [236] $G=(X, U)$, cu $X=\{1,2, \ldots, n\}$ reprezentând mulţimea indicilor vârfurilor şi U – mulţimea muchiilor, în care fiecare muchie $u_j^i \in U$ are asociată o valoare $\lambda\left(u_j^i\right)>0$, în unităţi convenţionale, conform criteriului de optimizare adoptat. Acestui graf i se ataşează matricea C de ordin n ale cărei elemente sunt:

$$c_{ij}=\begin{cases}\lambda\left(u_j^i\right), \text{ dacă } u_j^i \in U \\ \infty, \text{ dacă } u_j^i \notin U, \text{ sau } i=j\end{cases} \tag{3.112}$$

unde u_j^i este muchia u cu o extremitate în vârful i şi cealaltă extremitate în vârful j.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă toate valorile $\lambda(u_j^i)$ pentru $u_j^i \in U$ sunt distincte, există o soluţie unică a problemei. În cazul că există valori $\lambda(u_j^i)$ egale la mai multe muchii, problema poate avea mai multe soluţii.

3.5.2.1. **Determinarea grafului parţial al arborilor minimi**

Indicii vârfurilor muchiilor u_j^i, ce aparţin grafului parţial al arborilor minimi, şi valorile corespunzătoare c_{ij} se reţin într-o matrice M, care, potrivit faptului că un arbore minim are $n-1$ muchii, va avea 3 coloane şi $n-1$ linii. Această matrice se construieşte în următoarele etape:

e_1) Se determină elementele minime de pe fiecare linie a matricei C.

e_2) Se alege una din liniile pentru care elementul minim este unic şi se notează cu r, s indicii săi.

e_3) Se înregistrează pe prima linie a matricei M valorile r, s, c_{rs} şi se marchează elementele c_{rs}, c_{sr} din matricea C.

e_4) Se determină minimul elementelor nemarcate de pe liniile matricei C, pe care există cel puţin un element marcat, şi se notează cu r, s indicii elementului minim sau a unuia dintre ele, în cazul că există mai multe.

e_5) Dacă pe linia s a matricei C există elemente marcate, se marchează şi elementele c_{rs}, c_{sr} şi se trece la etapa e_6, iar dacă pe linia s a matricei C nu există elemente marcate, pentru fiecare element c_{is} aflat pe o linie marcată şi egal cu c_{rs} se adaugă matricei M o nouă linie formată din valorile i, s, c_{is} şi se marchează elementele c_{is}, c_{si} din matricea C, după care se trece la etapa e_6.

e_6) Se trece la etapa e_4 sau se opresc calculele după cum mai există sau nu linii în matricea C cu nici un element nemarcat.

3.5.2.2. **Generarea arborilor minimi**

Dacă pentru matricea M rezultă un număr de linii mai mare decât ordinul grafului considerat, problema arborelui minim are mai multe soluţii.

În acest caz se permută mai întâi liniile matricei M astfel încât elementele coloanei a doua să fie ordonate crescător. Pe coloana a doua se vor găsi numai indicii a $n-1$ vârfuri ale grafului. Dacă se notează frecvenţele absolute ale acestor indici pe coloana a doua a matricei M cu $F_1, F_2, \ldots, F_n$, iar frecvenţele cumulate cu $F_1^* F_2^*, \ldots, F_n^*$ $(i=1,2,\ldots,n-1)$, numărul de arbori minimi ai grafului n_a, are valoarea dată de relaţia

$$n_a = \prod_{i=1}^{n-1} F_i. \qquad (3.113)$$

Pentru identificarea celor n_a arbori minimi se construieşte o matrice A cu $n-1$ linii şi n_a coloane, în etapele:

e_7) Se asociază fiecărei frecvenţe absolute F_i o variabilă V_i ale cărei valori sunt elementele mulţimii $N_i = \left(F_{i-1}^*, F_i^*\right] \cap \{N\}$, ($i = 1,2, ..., n-1$), unde N este mulţimea numerelor naturale, iar $F_0^* = 0$.

e_8) Pe fiecare linie i a matricei A se înregistrează de n_a/F_i ori elementele V_i ale mulţimii N_i, astfel ca matricea A, obţinută în final, să aibă coloanele ordonate lexicografic.

Pe fiecare coloană a matricei A se găsesc indicii liniilor matricei M ce conţin caracteristicile muchiilor unuia din arborii optimi.

În cazul că soluţia obţinută este multiplă, alegerea soluţiei optime se face ţinând seama şi de alte criterii.

Pe baza algoritmului descris s-a elaborat programul ordinator OTREDIRA, care poate fi utilizat şi în cazul reţelelor de distribuţie a gazului, căldurii şi energiei electrice.

3.5.3. OPTIMIZAREA REPARTIŢIEI DEBITELOR DE TRANZIT ÎN REŢELELE INELARE

3.5.3.1. Necesitatea optimizării repartiţiei debitelor de tranzit

Este cunoscut că deşi sistemul inelar de reţea necesită, de obicei, o investiţie sporită faţă de cel ramificat, care alimentează aceleaşi noduri şi are aceeaşi încărcare hidraulică, la reţelele inelare securitatea alimentării nodurilor este mult mai mare şi prin urmare se impune introducerea în calculul de dimensionare optimală şi a unei condiţii referitoare la *gradul de siguranţă în exploatare*.

Funcţia obiectiv de forma generală (3.52), utilizată la dimensionarea optimală a reţelelor de distribuţie a apei, este din punct de vedere matematic o funcţie atât de debitele Q_{ij} (prin intermediul pierderii de sarcină h_{ij}) cât şi de diametrele D_{ij} ale fiecărui tronson, ceea ce face să se întâmpine serioase dificultăţi în problema obţinerii unui minim pe cale analitică. Prin anulare, derivatele parţiale de forma $\partial F_c/\partial D_{ij}$ şi $\partial F_c/\partial Q_{ij}$ arată că funcţia obiectiv F_c admite extreme, însă derivatele de ordinul doi indică trecerea funcţiei obiectiv F_c prin valori minime în raport cu diametrele D_{ij} şi prin valori maxime în raport cu debitele Q_{ij}, ceea ce complică soluţionarea problemei.

De asemenea, cunoscând la dimensionarea reţelelor inelare debitele consumate în noduri faţă de debitul de alimentare, se pot stabili debitele de tranzit pe tronsoane într-o infinitate de moduri, astfel încât să satisfacă restricţiile (3.8) de continuitate în noduri, afectând însă gradul de siguranţă

Scanned with OKEN Scanner

şi condiţiile tehnice şi economico-energetice ale sistemului. Astfel, în cazul utilizării unor criterii exclusiv cantitative (CAN, CTA, WT) la dimensionarea optimală a tipurilor uzuale de sisteme inelare pot rezulta ramuri de alimentare cu diametre de valori foarte diferite [196], ceea ce din punct de vedere practic constituie o reţea mixtă.

Pentru a evita aceste situaţii se propune etapizarea calculului de dimensionare optimală a reţelelor inelare în două procese principale:

– *optimizarea repartiţiei debitelor de tranzit* pe baza unui criteriu calitativ, care ţine seama de gradul de siguranţă în exploatare;

– *determinarea efectivă a diametrelor optime* prin aplicarea unui criteriu de optimizare, ţinând seama de debitele de tranzit optimizate.

3.5.3.2. **Modele de calcul al repartiţiei optime a debitelor de tranzit**

Optimizarea debitelor de tranzit pe tronsoane presupune cunoaşterea elementelor geometrice ale reţelei şi admiterea ipotezei consumului la noduri. Numărul soluţiilor acceptabile pentru repartiţia debitelor în conductele unei reţele date se restrânge considerabil dacă se foloseşte criteriul calitativ de siguranţă în exploatare.

În acest sens, se utilizează pentru optimizarea debitelor *criteriul lucrului de transport minim*, care se exprimă analitic prin M funcţii obiectiv de forma:

$$F_t = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} L_{ij} Q_{ij}^{\gamma} \rightarrow \min, \quad (m = 1, ..., M) \tag{3.114}$$

unde lungimile L_{ij} ale conductelor sunt cunoscute şi la care se alătură şi ecuaţiile de continuitate (3.8) ca restricţii.

• Modelul descris de relaţiile (3.114), (3.8) asigură alimentarea nodurilor reţelei pe drumul cel mai scurt şi cu un efort minim de transport, iar pentru rezolvarea acestuia se aplică *metoda iteraţiilor*, calculând câte un debit de corecţie ΔQ_m în fiecare inel m, din condiţia:

$$F_t = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} L_{ij} \left(Q_{ij} + \Delta Q_m \right)^{\gamma} \rightarrow \min, \tag{3.115}$$

care necesită egalarea cu zero a derivatei $\partial F_t / \partial \Delta Q_m = f(\Delta Q_m)$, adică:

$$f(\Delta Q_m) = \gamma \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} L_{ij} \left(Q_{ij} + \Delta Q_m \right)^{\gamma - 1} = 0, \tag{3.116}$$

Scanned with OKEN Scanner

de unde pentru simplificare se reţin numai primii doi termeni ai seriei Mac-Laurin:

$$f(\Delta Q_m)=f(0)+\Delta Q_m f'(0)=0. \tag{3.117}$$

Făcând derivata funcţiei (3.116) şi particularizând-o pentru $\Delta Q_m=0$, rezultă:

$$f'(0)=\gamma(\gamma-1)\sum_{\substack{ij\in m\\ij=1}}^{T} L_{ij}Q_{ij}^{\gamma-2} \tag{3.118}$$

cu care, din relaţia (3.117), se obţine:

$$\Delta Q_m=-\frac{\sum_{\substack{ij\in m\\ij=1}}^{T} L_{ij}Q_{ij}^{\gamma-1}}{(\gamma-1)\sum_{\substack{ij\in m\\ij=1}}^{T} L_{ij}\left|Q_{ij}\right|^{\gamma-2}} \quad (m=1,...,M) \tag{3.119}$$

unde debitele Q_{ij} sunt mărimi orientate, având semnul (+) atunci când sensul lor, pe tronsoane, coincide cu sensul de parcurs al inelului, iar în caz contrar având semnul (–).

Pornind de la soluţia iniţială, obţinută considerând debitele nule în conductele care nu aparţin reţelei virtual ramificate de bază, şi determinând celelalte debite recursiv, începând cu nodurile extreme ale acestei reţele, se corectează debitele iterativ, până se atinge precizia prescrisă prin eroarea maximă admisă pe un ciclu.

Debitul corectat Q_{ij} se calculează cu relaţia (3.120) sau (3.121) după cum conducta considerată este singulară sau comună pentru inelele m şi k:

$$Q_{ij}=Q_{ij}^{(0)}+\Delta Q_m, \tag{3.120}$$

$$Q_{ij}=Q_{ij}^{(0)}+\Delta Q_m-\Delta Q_k \tag{3.121}$$

în care: $Q_{ij}^{(0)}$ este debitul în conducta ij la aproximaţia precedentă; ΔQ_m, ΔQ_k – corecţia de debit ce se aplică în inelul m şi respectiv k.

Ţinând seama de faptul că funcţia $1/(\gamma-1)$ are valori foarte mari în vecinătatea punctului 1, în raport cu funcţia putere $Q_{ij}^{\gamma-1}$, modelul de optimizare (3.119) poate fi aplicat la reţele având mai mult de 3...10 inele, cu rezultate corespunzătoare din punct de vedere tehnic, doar pentru valori ale exponentului γ în domeniile: $0<\gamma<0{,}5$ şi $\gamma>1{,}23$.

Scanned with OKEN Scanner

• Modelul de optimizare a debitelor de tranzit poate fi formulat şi ca un *program neliniar de minim condiţionat*, având funcţia obiectiv unică:

$$F_t = \sum_{ij=1}^{T} L_{ij} Q_{ij}^{\gamma} \rightarrow \min \qquad (3.122)$$

supusă pe lângă restricţiile de continuitate (3.8) şi la restricţiile de ordin tehnic:

$$Q_{ij} \geq Q_0^* \qquad (ij = 1, \ldots T) \qquad (3.123)$$

în care Q_0^* este un debit minim necesar în conductele reţelei astfel încât să se evite posibilitatea transformării reţelei inelare într-una parţial ramificată.

Rezolvarea acestui model matematic se poate efectua aplicând metoda gradienţilor condiţionaţi şi are dezavantajul că necesită cunoaşterea apriorică a sensului de curgere pe fiecare tronson.

Modelul iterativ de optimizare (3.119) s-a implementat în cadrul programului ordinator REOPDERA, care permite pe lângă calculul debitelor optimizate, pentru diverşi exponenţi γ ai funcţiei obiectiv F_t, şi efectuarea dimensionării optimale a conductelor reţelei după mai multe criterii, folosind modelul de optimizare Moşnin [1], [2], [105]. Pentru fiecare exponent γ luat în studiu se determină, atât cu diametrele optime efectiv calculate, cât şi cu diametrele comerciale alese, valoarea criteriului F_c de optimizare a diametrelor şi valoarea criteriului F_t de optimizare a debitelor. Corespunzător valorii minime a funcţiei de performanţă F_c rezultă valoarea optimă a exponentului γ.

3.5.3.3. Exponentul optim al funcţiei obiectiv de optimizare a debitelor de tranzit

Se prezintă parţial rezultatele studiului efectuat cu ajutorul programului REOPDERA, privind optimizarea repartiţiei debitelor de tranzit, şi anume pentru reţeaua inelară din figura 3.14 alimentată prin pompare cu debitul $Q_p = 1{,}5\ m^3/s$.

Calculul s-a efectuat pentru un număr de 20 valori ale exponentului γ, considerând regimul de curgere a apei în conducte atât turbulent tranzitoriu cât şi turbulent pătratic, şi s-a adoptat pentru optimizarea diametrelor criteriul CTA precum şi criteriul WT. Pentru a se putea determina cu certitudine valoarea optimă a exponentului γ s-au calculat valorile funcţiei obiectiv F_c, luând în considerare nu numai diametrele comerciale alese, ci şi diametrele efectiv calculate.

În figurile 3.15 şi 3.16 sunt prezentate graficele de variaţie a funcţiei obiectiv F_c în raport cu exponentul γ, iar în figura 3.17 este redat graficul de variaţie a funcţiei de performanţă F_t, calculată pentru întreg sistemul inelar, în raport cu exponentul γ. După cum reiese din reprezentările făcute în

Scanned with OKEN Scanner

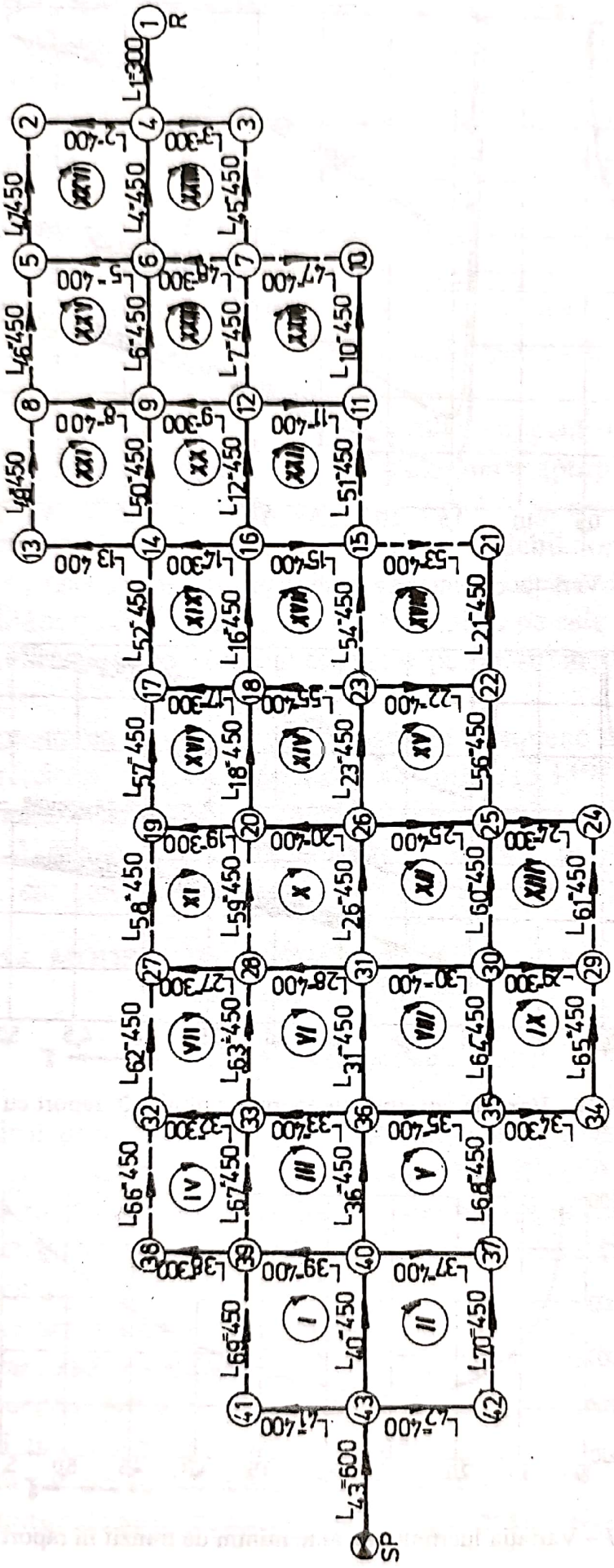


Fig. 3.14 – Schema rețelei inelare ($M = 72$, $N = 43$, $T = 70$) de distribuție.

Scanned with OKEN Scanner

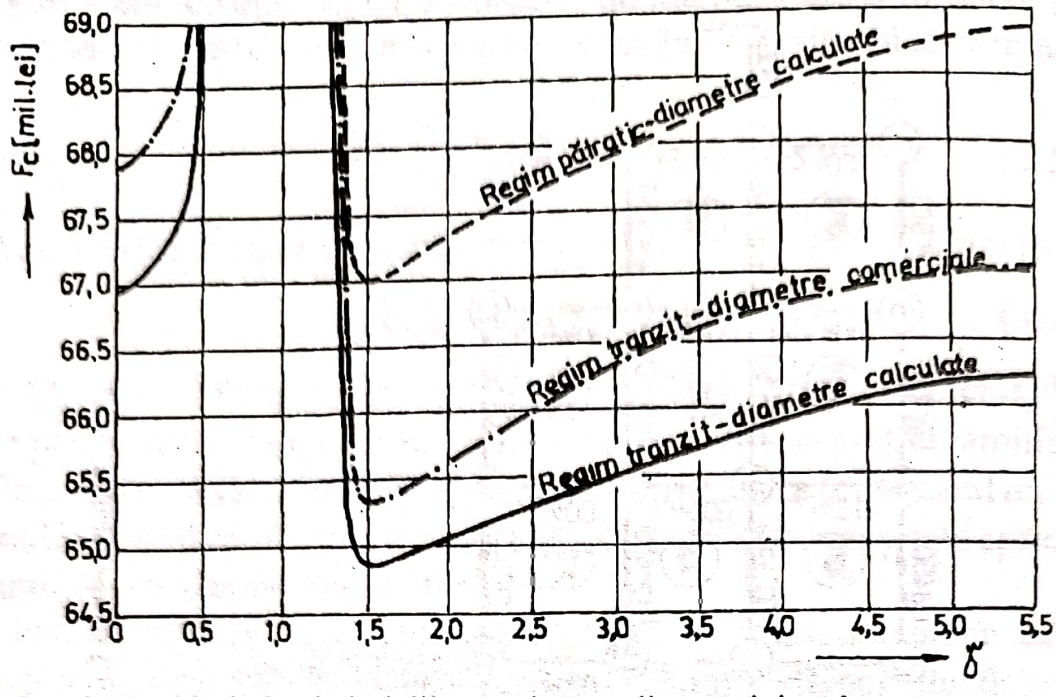


Fig. 3.15 – Variația cheltuielilor totale actualizate minime în raport cu γ.

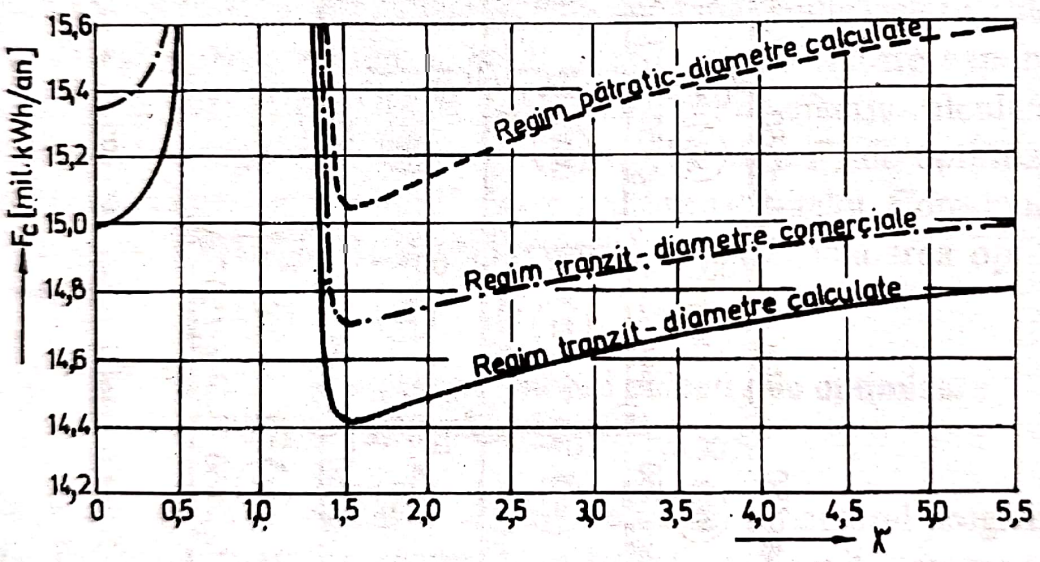


Fig. 3.16 –Variația consumului energetic minim în raport cu γ.

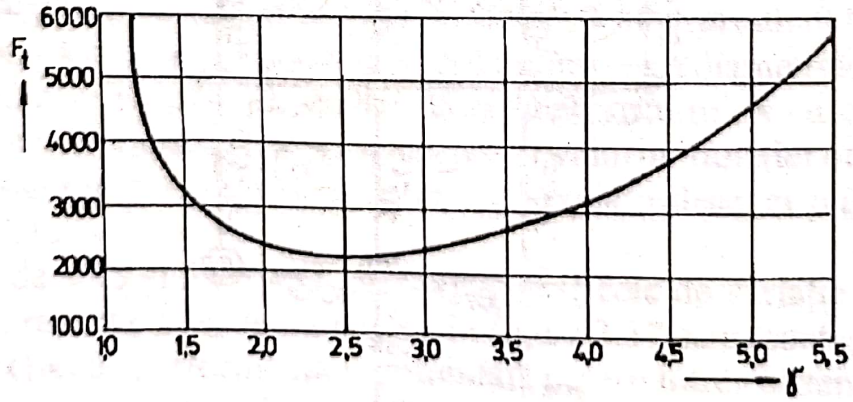


Fig. 3.17 – Variația lucrului mecanic minim de tranzit în raport cu γ.

figurile 3.15 şi 3.16, în toate ipotezele de calcul considerate s-a obţinut pentru exponentul γ valoarea optimă $\gamma_o = 1,5$, căreia îi corespunde cea mai mică dintre valorile minime ale funcţiei obiectiv F_c de optimizare a diametrelor.

Din figura 3.17 rezultă că valoarea minimă a funcţiei obiectiv F_t, de optimizare a debitelor, deci gradul maxim de siguranţă în exploatarea reţelei, corespunde exponentului $\gamma = 2,3$.

Analize teoretice asemănătoare s-au efectuat şi pentru alte reţele inelare de dimensiuni şi cu încărcări hidraulice diferite, conducând la concluzia că valoarea optimă a exponentului γ al funcţiei de performanţă F_t se află în domeniul 1,3...2,5, valorile mici referindu-se la reţele de dimensiuni mari şi invers.

Din analizele numerice efectuate a rezultat că, pentru $\gamma = 2$, valoarea fiecăreia dintre funcţiile obiectiv F_c şi F_t este foarte apropiată de valoarea minimă corespunzătoare a acestora (eroare sub 1 % şi respectiv 5 %). De aceea se recomandă ca modelul de optimizare a debitelor să minimizeze produsele de transport pătratice (γ_o=2), ceea ce are ca semnificaţie fizică, în ipoteza egalităţii modulilor de rezistenţă hidraulică pe cele două ramuri ale unui inel, minimizarea consumului energetic pe fiecare inel şi deci pe întreg sistemul inelar.

Implementarea în cadrul unor programe complexe de dimensionare optimală a reţelelor inelare a modelului matematic (3.119) de optimizare a debitelor, după criteriul lucrului mecanic de tranzit minim cu produse de transport de grad $\gamma = 2$, conduce nu numai la reţele optime din punctul de vedere al diametrelor, dar conferă şi un grad mare de siguranţă în funcţionarea lor.

3.5.4. MODELE DE OPTIMIZARE A DIMENSIONĂRII REŢELELOR INELARE

3.5.4.1. Generalităţi

În cadrul proceselor de optimizare pe care le implică proiectarea raţională a reţelelor de distribuţie a apei, care să conducă la folosirea judicioasă a fondurilor de investiţie şi o exploatare normală, cu consum minim de energie şi cheltuieli reduse, de o mare importanţă este optimizarea dimensionării acestora.

Practica actuală a dimensionării se caracterizează, de obicei, printr-o alegere a diametrelor conductelor în funcţie de vitezele medii economice (MVE), procedeu care necesită tatonări şi rareori duce la un optim din punct de vedere al unui criteriu economic şi tehnic.

O dată cu perfecţionarea calculatoarelor electronice problema proiectării optimale şi-a găsit ecou atât în ţară cât mai ales în străinătate.

Scanned with OKEN Scanner

Un procedeu de dimensionare optimală funcţional superior metodei curente este procedeul discontinuu [118], utilizabil, însă, doar pentru reţele în sistem ramificat.

Există şi alte modele analitice sau numerice ce utilizează optimizarea criteriilor economice [1], [9], [10], [14], [30], [35], [98], [107], [153], [240], dar deşi acestea cer respectarea condiţiilor hidraulice de bază ale reţelelor inelare simple, rămân condiţii legate de funcţionalitatea, siguranţa în exploatare şi aspectul energetic, care, în general, nu pot fi respectate în totalitatea lor, fiind necesare ajustări postoptimale ce alterează soluţia optimă obţinută iniţial, rezultând un optim relativ. De asemenea, fie că unele din aceste metode necesită studierea mai multor variante posibile [153], fie că au un grad de aplicabilitate limitat, neincluzând cazul reţelelor inelare alimentate gravitaţional [1], [9], [107] ori cel al reţelelor inelare alimentate din mai multe surse şi având pompe integrate pe artere [10], [30], [240], sau nu oferă posibilitatea folosirii unor criterii de optimizare complexe şi multiple [14], [35], [52] şi a considerării mai multor ipoteze de funcţionare [9], [98], [222], [240].

Pe de altă parte, aproape toate aceste modele de optimizare, care consideră curgerea în domeniul turbulenţei pătratice, au la bază ipoteza consumului concentrat la noduri şi nu permit practic decât folosirea unui singur diametru pe întreaga lungime a fiecărui tronson de conductă [9], [240], de obicei rotunjit la valoarea standardizată cea mai apropiată [10], [14], [35], [52], [107], [153], neoferind siguranţa obţinerii unui optim absolut, iar unele nu permit decât dimensionarea reţelelor noi [14], [35], [52], [98], [222].

Având în vedere aceste considerente, s-a reformulat cunoscutul model de optimizare Moşnin, pentru dimensionarea reţelelor inelare alimentate de la mai multe staţii de pompare în regim de curgere turbulent tranzitoriu, şi s-au elaborat două modele de dimensionare optimală a reţelelor de distribuţie, cu un grad de generalitate şi performanţe sporite, bazate pe metodele programării matematice neliniare şi respectiv liniare.

3.5.4.2. **Reformularea modelului de optimizare Moşnin**

Unul din modelele de calcul cu bune rezultate în optimizarea reţelelor inelare de distribuţie a apei, descris în literatură, este *modelul de optimizare Moşnin* (MOM), care utilizează metoda debitelor fictive. Acesta se reformulează astfel încât să facă posibilă dimensionarea optimală a reţelelor inelare alimentate de la una sau mai multe staţii de pompare, în regim turbulent tranzitoriu de curgere a apei în conducte, prin minimizarea unuia din criteriile de optimizare exprimate de funcţia obiectiv complexă de forma (3.52).

Conform acestui model se determină un parametru unic X_{ij} cu valoare optimizată pentru fiecare tronson *ij*, ce respectă condiţiile de continuitate în

Scanned with OKEN Scanner

noduri şi condiţiile de bilanţ energetic pe inele, cu ajutorul căruia se calculează diametrul optim D_{ij}.

Din relaţia funcţională de forma generală (3.21) se exprimă diametrul D_{ij} în funcţie de pierderea de sarcină h_{ij} şi se introduce în funcţia obiectiv (3.52), rezultând:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^{T} \left[a + b\left(\frac{k}{h_{ij}}\right)^{\frac{\alpha}{r}} \left(Q_{ij}^{\beta} L_{ij}\right)^{\frac{\alpha}{r}} \right] L_{ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} \left(\sum h_{ij} + H_0\right)_j \quad (3.124)$$

în care k este dat de relaţia (3.23).

Deoarece în calculul de optimizare se utilizează ecuaţiile de conservare a energiei pe inele este mai practic să se efectueze derivatele funcţiei obiectiv F_c în raport cu pierderile de presiune h_{ij}:

$$\frac{\partial F_c}{\partial h_{ij}} = -\frac{\alpha}{r} \xi_1 b k^{\frac{\alpha}{r}} \frac{s_{ij}}{h_{ij}^{1+\frac{\alpha}{r}}} + \psi Q_p \quad (3.125)$$

în care:

$$s_{ij} = \left(Q_{ij}^{\beta} L_{ij}\right)^{\frac{\alpha}{r}} L_{ij}; \quad Q_p = \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j}. \quad (3.126)$$

La efectuarea derivatelor parţiale trebuie să se ţină seama de condiţiile hidraulice pentru o reţea inelară. Astfel, pentru o reţea cu M inele, N noduri şi T tronsoane se pun M condiţii între pierderile de presiune h_{ij}, astfel încât N-NP valori h_{ij} se pot considera independente, iar restul, T-N+NP, trebuie explicitate.

Dacă se consideră, pentru uşurarea expunerii, reţeaua simplă (NP=1) din figura 3.18 cu $M = 4$ inele, $N = 9$ noduri şi $T = 12$ tronsoane, rezultă că trebuie alese 4 variabile dependente ale pierderilor de sarcină.

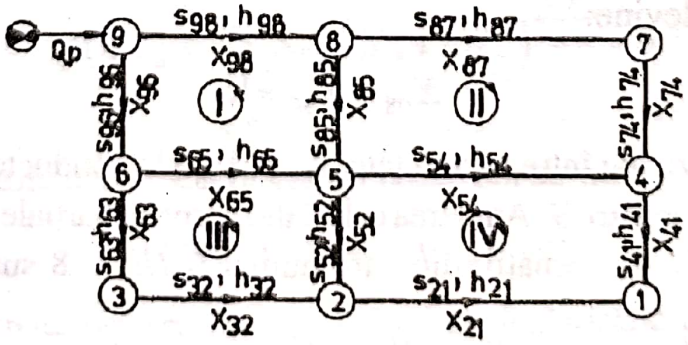


Fig. 3.18 – Schemă reţea.

Astfel, considerând ca variabile dependente pierderile de sarcină h_{96}, h_{85}, h_{63}, h_{52} se scriu următoarele ecuaţii de bilanţ energetic:

$$\begin{aligned} h_{96} &= h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54} \\ h_{85} &= h_{87} + h_{74} - h_{54} \\ h_{63} &= h_{65} + h_{54} + h_{41} - h_{32} - h_{21} \\ h_{52} &= h_{54} + h_{41} - h_{21}. \end{aligned} \tag{3.127}$$

În acest fel funcţia obiectiv se poate explicita sub forma:

$$F_c = \xi_1 Ta + \xi_1 bk^{\frac{\alpha}{r}} \left[\frac{s_{98}}{h_{98}^{\alpha/r}} + \frac{s_{96}}{\left(h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54}\right)^{\alpha/r}} + \frac{s_{65}}{h_{65}^{\alpha/r}} + \ldots \right] + \psi Q_p \left(\sum h_{ij} + H_0 \right). \tag{3.128}$$

Dacă se anulează derivata parţială în raport cu h_{21} şi se fac notaţiile:

$$E = \frac{r\psi k}{\xi_1 b \alpha} \tag{3.129}$$

$$A = \frac{\psi}{\xi_1 b^{\alpha/r} k^{\alpha/r}} = \frac{E}{k^{1+\alpha/r}} \tag{3.130}$$

se obţine:

$$\frac{s_{98}}{h_{98}^{1+\alpha/r}} + \frac{s_{96}}{\left(h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54}\right)^{1+\alpha/r}} = AQ_p. \tag{3.131}$$

Prin considerarea unei noi variabile X_{ij} denumită debit fictiv:

$$X_{ij} = \frac{s_{ij}}{h_{ij}^{1+\alpha/r}} \frac{1}{AQ_p} \tag{3.132}$$

relaţia (3.131) devine:

$$X_{98} + X_{96} = 1. \tag{3.133}$$

Această relaţie are loc între variabilele X_{98} şi X_{96} ale conductelor care pornesc din nodul de alimentare 9. Anularea celorlalte derivate parţiale duce la obţinerea unui sistem de $N = 9$ ecuaţii, din care numai $N\text{-}NP = 8$ sunt independente:

$$\begin{array}{lll} X_{98} + X_{96} = 1 & X_{65} + X_{63} = X_{96} & X_{63} = X_{32} \\ X_{25} + X_{87} = X_{98} & X_{65} + X_{85} = X_{52} + X_{54} & X_{32} + X_{52} = X_{21} \\ X_{87} = X_{74} & X_{54} + X_{74} = X_{41} & X_{21} + X_{41} = 1 \end{array} \tag{3.134}$$

Celelalte $M = 4$ relaţii, pentru variabilele dependente, se scriu exprimând pierderile de sarcină h_{ij} în funcţie de debitele fictive X_{ij} din relaţia (3.132), după înlocuirea primei relaţii (3.126):

$$h_{ij} = \frac{\left(Q_{ij}^{\beta} L_{ij}\right)^{\frac{\alpha}{r}\frac{r}{\alpha+r}} L_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}}}{X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} \left(AQ_{\mathrm{p}}\right)^{\frac{r}{\alpha+r}}} = \frac{h_{F,\,ij}}{\left(AQ_{\mathrm{p}}\right)^{\frac{r}{\alpha+r}}}. \tag{3.135}$$

Dacă se foloseşte prin analogie cu pierderile de sarcină reale notaţia $h_{\mathrm{F},ij}$, reprezentând pierderea de sarcină fictivă, ea va avea expresia:

$$h_{\mathrm{F},ij} = Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{\alpha+r}} L_{ij} X_{ij}^{-\frac{r}{\alpha+r}} = S_{\mathrm{F},ij} X_{ij}^{-\frac{r}{\alpha+r}}, \tag{3.136}$$

în care prin $S_{\mathrm{F},ij}$ s-a notat modulul fictiv de rezistenţă, definit de relaţia:

$$S_{\mathrm{F},ij} = L_{ij} Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{\alpha+r}}. \tag{3.137}$$

Cu pierderile de sarcină fictive astfel obţinute, se pune condiţia închiderii liniei de presiune fictivă, analog cu condiţiile din cazul pierderilor de presiune reale.

Debitele fictive X_{ij} se propun iniţial astfel încât să fie respectate condiţiile de bilanţ în noduri. În nodul de alimentare şi nodul de închidere, suma valorilor X_{ij} pe tronsoanele concurente în acestea trebuie să formeze unitatea.

Dacă reţeaua este alimentată de la mai multe surse, în fiecare nod de alimentare j suma debitelor fictive pe tronsoanele concurente în nod este $Q_{\mathrm{p}j}/Q_{\mathrm{p}}$ (j= 1,2,...,NP).

Debitele fictive se echilibrează prin aproximaţii succesive cu ajutorul corecţiilor inelare ΔX_m, calculate pentru fiecare inel m. Se scrie condiţia de echilibrare:

$$f(\Delta X_m) = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} S_{\mathrm{F},ij} \left(X_{ij} + \Delta X_m\right)^{-\frac{r}{\alpha+r}} = 0 \tag{3.138}$$

din care pentru simplificare se reţin numai primii doi termeni ai seriei Mac-Laurin:

$$f(\Delta X_m) = f(0) + \Delta X_m f'(0). \tag{3.139}$$

Dacă facem derivata funcţiei (3.138) şi particularizând-o pentru $\Delta X_m = 0$, rezultă:

$$f'(0) = -\frac{r}{\alpha+r} \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} S_{\mathrm{F},ij} X_{ij}^{-\frac{r}{\alpha+r}}, \tag{3.140}$$

Scanned with OKEN Scanner

cu care din relaţia (3.139) se obţine modelul matematic:

$$\Delta X_m = \frac{\alpha + r}{r} \cdot \frac{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} S_{F,ij} X_{ij}^{-\frac{r}{\alpha+r}}}{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} S_{F,ij} X_{ij}^{-\frac{2r+\alpha}{\alpha+r}}} \qquad (m = 1, \ldots, M). \tag{3.141}$$

Pentru valorile particulare $\alpha = 1{,}8$ şi $r = 5{;}33$, forma practică pentru corecţia de debit fictiv este:

$$\Delta X_m = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} S_{F,ij} X_{ij}^{-0,75}}{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} S_{F,ij} X_{ij}^{-1,75}} \quad (m=1, \ldots, M), \tag{3.142}$$

iar modulul fictiv de rezistenţă devine:

$$S_{F,ij} = L_{ij} \sqrt{Q_{ij}}. \tag{3.143}$$

Debitele fictive corectate se determină cu relaţii de tipul (3.120) şi (3.121), valabile pentru calculul debitelor reale optimizate.

De reţinut că modulul fictiv $S_{F,ij}$, debitele fictive X_{ij}, divergenţele fictive pe inele $\Sigma S_{F,ij} X_{ij}^{-0,75}$ şi corecţiile de debit ΔX_m sunt mărimi orientate.

Explicitând debitele fictive X_{ij}, prin introducerea în relaţia (3.132) a relaţiilor (3.21), (3.126) şi (3.130), se deduce relaţia generală de optimizare a diametrelor:

$$D_{ij} = E^{\frac{1}{\alpha+r}} \left(X_{ij} Q_p \right)^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}}. \tag{3.144}$$

Mărimea X_{ij} se poate interpreta ca o fracţiune din debitul pompat Q_p care trebuie considerată în calculul unei conducte ce face parte dintr-o reţea inelară.

Introducând $X_{ij} = 1$ în relaţia (3.144) se obţine relaţia particulară pentru dimensionarea optimală a conductelor reţelelor ramificate.

Modelul de optimizare Moşnin s-a implementat în cadrul programului complex DIOPREDA, care permite dimensionarea optimală a reţelelor de distribuţie a apei în centre populate şi ansambluri de clădiri, concomitent cu verificarea hidraulică a acestora în mai multe ipoteze de funcţionare. Acest model de calcul este aplicabil şi pentru dimensionarea optimală a extinderii unor reţele existente.

Scanned with OKEN Scanner

3.5.4.3. Modelul de optimizare neliniară

Prin perfecționarea modelului de calcul simplificat [176] s-a generalizat acest model de optimizare pentru rețelele inelare complexe funcționând prin pompare, sub forma unei probleme de programare neliniară, având ca variabile fie pierderile de sarcină fie debitele în conducte, care se reduce la rezolvarea numerică a unui sistem de ecuații neliniare.

Modelul de optimizare neliniară (MON) presupune cunoscută topologia rețelei, precum și unii parametri energetico-economici și hidraulici, făcând posibilă dimensionarea optimală a rețelelor inelare prin minimizarea unuia dintre criteriile de optimizare exprimate prin funcția obiectiv complexă de forma generală (3.52).

Dacă se explicitează diametrul D_{ij} din relația funcțională (3.21) în funcție de debit și de pierderea de sarcină:

$$D_{ij} = k^{\frac{1}{r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{r}} h_{ij}^{-\frac{1}{r}} L_{ij}^{\frac{1}{r}} \tag{3.145}$$

și se introduce în funcția obiectiv (3.52), ținând seama de ecuațiile de continuitate a debitului (3.8) și de conservare a energiei pe inele (3.9), precum și pe câte un traseu de conducte cuprins între instalațiile de pompare IP_j și nodurile obligate din sistem, dimensionarea optimală a rețelelor inelare se efectuează cu modelul matematic:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^{T} \left(a + b k^{\frac{\alpha}{r}} Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{r}} h_{ij}^{-\frac{\alpha}{r}} L_{ij}^{\frac{-\alpha}{r}} \right) L_{ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} \left(\sum h_{ij} + H_0 \right)_j \rightarrow \min \tag{3.146}$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} Q_{ij} + q_j = 0 \quad (j = 1, \ldots, N - NP) \tag{3.147}$$

$$\sum_{\substack{ij=1 \\ ij \in m}}^{T} \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m = 0 \quad (m = 1, \ldots, M) \tag{3.148}$$

$$Z_{IP,j} - \sum_{ij=1}^{NT_j} \varepsilon_{ij} \left(h_{ij} - H_{p,ij} \right) - Z_0 = 0 \quad (j = 1, \ldots, NP) \tag{3.149}$$

în care: $Z_{IP,j}$ este cota piezometrică la instalația de punere sub presiune IP_j; Z_0 – cota piezometrică în nodul obligat O; NT_j – numărul tronsoanelor de conducte aflate pe traseul $IP_j - O$; $H_{p,ij}$ – înălțimea de refulare a pompelor integrate pe artera ij.

Scanned with OKEN Scanner

Modelul de optimizare (3.146)...(3.149) reprezintă o problemă de programare neliniară cu restricţii de egalitate, care se reduce, prin aplicarea procedeului coeficienţilor nedeterminaţi de tip Lagrange, la un sistem de ecuaţii neliniare. Se formează funcţia lagrangean Γ de forma:

$$\Gamma = F_c + \sum_{n=1}^{N-NP} \Lambda_n \left(\sum_{\substack{i \neq j \\ i=1}}^{N} Q_{ij} + q_j \right) + \sum_{m=1}^{M} \Lambda_m \left(\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m \right) + \sum_{j=1}^{NP} \Lambda_j \left[Z_{IP,j} - \sum_{ij=1}^{NT_j} \varepsilon_{ij} \left(h_{ij} - H_{p,ij} \right) - Z_0 \right] \quad (3.150)$$

în care Λ_n, Λ_m, Λ_j sunt multiplicatori Lagrange.

Soluţia optimă a modelului (3.146)...(3.149) se obţine prin anularea derivatelor parţiale de ordinul întâi ale funcţiei Γ în raport cu $y_i \in \{Q_{ij}, h_{ij}\}$ şi multiplicatorii Λ_n, Λ_m, Λ_j:

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial y_i} = \frac{\partial F_c}{\partial y_i} + \sum_{n=1}^{N-NP} \Lambda_n \frac{\partial \left(\sum Q_{ij} + q_j \right)}{\partial y_i} + \sum_{m=1}^{M} \Lambda_m \frac{\partial \left(\sum \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m \right)}{\partial y_i} + \sum_{j=1}^{NP} \Lambda_j \frac{\partial \left[Z_{IP,j} - \sum \varepsilon_{ij} \left(h_{ij} - H_{p,ij} \right) - Z_0 \right]}{\partial y_i} = 0 \quad (3.151)$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \Lambda_n} = \sum_{\substack{i \neq j \\ i=1}}^{N} Q_{ij} + q_j = 0 \qquad (j = 1, \ldots, N - NP) \quad (3.152)$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \Lambda_m} = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^{T} \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m = 0 \qquad (m = 1, \ldots, M) \quad (3.153)$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \Lambda_j} = Z_{IP,j} - \sum_{ij=1}^{NT_j} \varepsilon_{ij} \left(h_{ij} - H_{p,ij} \right) - Z_0 \qquad (j = 1, \ldots, NP). \quad (3.154)$$

Prin eliminarea multiplicatorilor (Λ_n, Λ_m, Λ_j) sistemul se reduce la $2T+NP$ ecuaţii cu tot atâtea necunoscute (Q_{ij}, h_{ij}, $Z_{IP,j}$) alcătuit din:

a) N–NP ecuaţii nodale de tipul (3.152);

b) M ecuaţii de inel (3.153);

Scanned with OKEN Scanner

c) *NP* ecuaţii funcţionale (3.154);

d) *N-NP* ecuaţii energetico–economice de nod de tipul:

$$\sum_{\substack{i\neq j\\ i=1}}^{N} Q_{ij}^{*}=\begin{cases}-\dfrac{\Psi}{A}Q_{\mathrm{p},j}, \text{ pentru noduri alimentate prin pompare } (j=1,...,NP)\\ 0, \text{ pentru celelalte noduri } (j=NP+1,...,N-NP)\end{cases} \tag{3.155}$$

unde:

$$Q_{ij}^{*}=Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{r}}\,h_{ij}^{-\frac{\alpha+r}{r}}\,L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}}, \tag{3.156}$$

$$A=\frac{\alpha}{r}\xi_1 b k^{\frac{\alpha}{r}}; \tag{3.157}$$

e) *M* ecuaţii energetico-economice de inel având forma:

$$\sum_{\substack{ij\in m\\ ij=1}}^{T} H_{ij}^{*}=0 \quad (m=1,...,M) \tag{3.158}$$

unde:

$$H_{ij}^{*}=Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha-r}{r}}\,h_{ij}^{-\frac{\alpha}{r}}\,L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \tag{3.159}$$

Ecuaţiile (3.155) se scriu în acelaşi mod ca şi ecuaţiile de continuitate a debitului, atribuind lui Q_{ij}^{*} acelaşi semn ca şi pentru Q_{ij}, iar ecuaţiile (3.158) se scriu la fel ca şi ecuaţiile de bilanţ energetic pe inele, atribuind lui, H_{ij}^{*} acelaşi semn ca şi pentru h_{ij}. În principiu sistemul de ecuaţii (3.152)...(3.155) şi (3.158) permite determinarea variabilelor Q_{ij} şi h_{ij}, însă trebuie cercetată existenţa extremului funcţiei obiectiv F_c.

Derivatele de ordinul doi ale funcţiei F_c în raport cu h_{ij} şi Q_{ij} sunt:

$$\frac{\partial^2 F_c}{\partial h_{ij}^2}=\frac{\alpha+r}{r}A Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{r}}\,h_{ij}^{-\frac{\alpha+2r}{r}}\,L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \tag{3.160}$$

$$\frac{\partial^2 F_c}{\partial Q_{ij}^2}=\beta A\frac{\beta\alpha-r}{r}Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha-2r}{r}}\,h_{ij}^{-\frac{\alpha}{r}}\,L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}}. \tag{3.161}$$

Întrucât $Q_{ij}\geq 0$, $h_{ij}\geq 0$ şi ţinând seama că pentru valorile uzuale ale lui α, din tabelul 3.1, raportul $(\alpha+r)/r > 0$, rezultă că $\partial^2 F_c/\partial h_{ij}^2>0$. Pentru valorile practice luate de α şi β (fig. 3.3) raportul $(\beta\alpha-r)/r < 0$, astfel încât rezultă că $\partial^2 F_c/\partial Q_{ij}^2<0$.

Scanned with OKEN Scanner

În consecinţă în toate cazurile funcţia obiectiv F_c este convex–concavă în domeniul de definire şi prin urmare nu are extrem. Pentru stabilirea unui extrem trebuie să se cunoască un set de variabile (Q_{ij} sau h_{ij}).

Considerând ca necunoscute variabilele h_{ij}, calculul de optimizare presupune două etape principale:

– determinarea repartiţiei debitelor de tranzit Q_{ij} şi optimizarea acesteia pe baza criteriului lucrului mecanic de transport minim, folosind unul din modelele matematice prezentate la pct. 3 5.3;

– determinarea pierderilor de sarcină h_{ij} prin rezolvarea sistemului de ecuaţii (3.153), (3.154), (3.155) (în funcţie de care se calculează diametrele optime D_{ij} cu relaţia (3.145), ce se rotunjesc la valori comerciale), recalcularea pierderilor de presiune cu relaţia (3.13) sau (3.21) şi efectuarea echilibrării hidraulice a reţelei cu modelul matematic descris la pct. 3.4.2.4.

Făcând notaţiile:

$$c_{ij}=Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{r}}\, L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \tag{3.162}$$

$$x=\frac{\alpha+r}{r} \tag{3.163}$$

ecuaţiile energetico-economice nodale (3.155) devin:

$$\sum_{\substack{i\neq j\\ i=1}}^{N} c_{ij}h_{ij}^{x}=\begin{cases}-\dfrac{\Psi}{A}Q_{p,j} & (j=1,\ldots,NP)\\ 0 & (j=NP+1,\ldots,N-NP)\end{cases} \tag{3.164}$$

şi împreună cu ecuaţiile (3.153) şi (3.154) formează un sistem neliniar, care se rezolvă aplicând metoda gradienţilor.

Pentru soluţionarea sistemului neliniar (3.153), (3.154), (3.164) scris sub forma vectorială:

$$F(H)=\{f_1(h_1,h_2,\ldots,h_n),\ldots,f_n(h_1,h_2,\ldots,h_n)\}=0, \tag{3.165}$$

metoda gradienţilor utilizează procesul iterativ de forma:

$$H^{(k+1)}=H^{(k)}-\theta J_k^{T}F\left(H^{(k)}\right) \tag{3.166}$$

în care: $H^{(k)}$, $H^{(k+1)}$ sunt componentele iteraţiei (k) şi $(k+1)$; J_k^{T} – matricea Jacobian transpusă, corespunzătoare vectorului $X^{(k)}$; θ – coeficientul de pondere, cuprins între limitele: $0<\theta\leq 1/\max\left\|J(H)\right\|^2$. Terminarea procesului iterativ este condiţionată de îndeplinirea condiţiilor:

Scanned with OKEN Scanner

$$\left|f_i^{(k)}\right| \leq \varepsilon \qquad (i=1,\ldots,n) \tag{3.167}$$

sau de depăşirea unui anumit număr de iteraţii.

Pentru stabilirea aproximaţiei iniţiale, $H^{(0)}$, a vectorului necunoscutelor H, se efectuează cu valorile optimizate Q_{ij} o predimensionare a reţelei după MVE.

Dacă sunt date iniţial pierderile de sarcină h_{ij}, se determină debitele Q_{ij}, prin rezolvarea sistemului de ecuaţii (3.147), (3.149), (3.159), în funcţie de care se calculează diametrele optime tot cu relaţia (3.145).

La o dimensionare optimală, linia piezometrică a unui traseu de NT_j conducte, situate în aceeşi zonă de presiune, trebuie să reprezinte o linie poligonală care să se apropie cât mai bine de forma optimă exprimată prin ecuaţia:

$$Z_n = Z_{IP,j} - \left[1 - \left(1 - \frac{d}{\sum_{ij=1}^{NT_j} L_{ij}}\right)^{\frac{\beta\alpha}{\alpha+r}+1}\right] \sum_{ij=1}^{NT_j} h_{ij} \tag{3.168}$$

în care: Z_n este cota piezometrică în nodul n; d – distanţa nodului n faţă de instalaţia de punere sub presiune j.

Modelul de optimizare neliniară este implementat în cadrul programului ordinator OPNELIRA.

3.5.4.4. **Modelul de optimizare liniară**

Pentru a elimina dezavantajul MOM, de a furniza o soluţie optimă alterată ca urmare a alegerii unor valori comerciale pentru diametrele optime calculate, s-a conceput un model perfecţionat, cu grad sporit de generalitate şi precizie, pentru dimensionarea optimală a reţelelor de distribuţie noi şi parţial extinse funcţionând prin pompare sau gravitaţional. Acesta se bazează pe metoda programării liniare şi permite determinarea unei repartiţii optime a diametrelor standardizate, pe lungimea fiecărui tronson al reţelei, şi a lungimii sectoarelor de tronsoane, corespunzătoare acestor diametre, cu posibilitatea luării în considerare a diferitelor regimuri de funcţionare caracteristice în exploatare şi a consumului continuu uniform distribuit.

La elaborarea *modelului de optimizare liniară* (MOL) se presupun cunoscute: topologia reţelei; debitele introduse în reţea, corespunzătoare fiecărei zone de consum şi ipoteză de funcţionare; parametrii energetico -

Scanned with OKEN Scanner

- economici şi hidraulici; cota geodezică, presiunile de serviciu şi debitele concentrate pentru fiecare nod de consum; cotele nivelului apei în bazinele de aspiraţie, în cazul că instalaţiile de punere sub presiune sunt staţii de pompare; cotele piezometrice la instalaţiile de punere sub presiune, când se aleg apriori.

Pentru fiecare ipoteză de funcţionare se determină debitele de tranzit pe tronsoane Q_{ij}, a căror repartiţie în cazul reţelelor inelare se optimizează pe baza criteriului lucrului mecanic minim de transport, aplicând, modelul iterativ prezentat la pct. 3.5.3.

Se stabileşte pentru fiecare tronson *ij* seria diametrelor standardizate posibil a fi utilizate $D_{k,ij} \in [D_{\max,ij}, D_{\min,ij}]$ pe baza valorilor limită ale diametrelor optime $D_{\max,ij}$ şi $D_{\min,ij}$, calculate cu relaţia de optimizare (3.169) pentru reţelele alimentate prin pompare sau cu relaţia (3.170) pentru reţelele alimentate gravitaţional:

$$D_{\max(\min),ij} = E_{\max(\min)}^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_p^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} \tag{3.169}$$

$$D_{\max(\min,),ij} = \sqrt{\frac{4 \quad Q_{ij}}{\pi V_{\min(\max),ij}}} \tag{3.170}$$

în care: Q_{ij} este debitul de calcul al tronsonului *ij*; $Q_p = \Sigma Q_{p,j}$ – debitul pompat în reţea, $V_{\min}$, $V_{\max}$ – limitele vitezei economice a apei în conductă.

Factorul energetico–economic al conductelor E, cu expresia (3.129), se introduce în relaţia (3.169) cu valoarea maximă, respectiv minimă calculată şi dată în tabelul 3.8, în funcţie de criteriul de optimizare adoptat, corespunzător valorilor limită de variaţie ale parametrilor energetico–economici ai sistemului de distribuţie.

Pentru optimizarea diametrelor, în cazul extinderii unei reţele existente, s-a conceput un coeficient de penalizare p_{ij}, care, la conductele cu diametre fixate, are valoarea diametrului corespunzător impus $D_{k,ij} = p_{ij}$

Tabelul 3.8

Valorile $E_{\min}$ şi $E_{\max}$ ale factorului energetico-economic al conductelor

Nr. crt.	Materialul conductei	Criteriul CAN		Criteriul CTA		Criteriul WT	
		$E_{\min}$	$E_{\max}$	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$E_{\min}$	$E_{\max}$
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Beton armat PREMO	0,46	2,28	0,21	1,46	0,34	1,38
2	Fontă	0,24	1,11	0,14	0,78	0,20	0,80
3	Oţel	0,46	2,28	0,21	1,46	0,34	1,38
4	Azbociment	0,32	1,62	0,16	1,02	0,63	2,13
5	PVC	0,28	1,20	0,13	0,90	0,17	0,15

Scanned with OKEN Scanner

Admiţând că un tronson *ij* de lungime L_{ij} al unei reţele alcătuite din T tronsoane, funcţionând prin pompare, poate fi format din s_{ij} sectoare k de diametre $D_{k,ij}$ şi lungime $X_{k,ij}$ şi ţinând seama de notaţiile:

$$c^*_{k,ij}=\xi_1\left(a+bD^{\alpha}_{k,ij}\right) \tag{3.171}$$

$$Z_{\mathrm{IPP},j}=\left(\sum h_{ij}+H_0\right)_j \tag{3.172}$$

funcţia obiectiv (3.52) primeşte forma:

$$F_c=\sum_{ij=1}^{T}\sum_{k=1}^{s_{ij}}c^*_{k,ij}X_{k,ij}+\psi\sum_{j=1}^{NP}Q_{p,j}Z_{\mathrm{IPP},j}\rightarrow \mathrm{mih.} \tag{3.173}$$

Necunoscutele funcţiei obiectiv sunt variabilele $X_{k,ij}$ şi $Z_{\mathrm{IPP},j}$ în număr de $NP+\sum_{ij=1}^{T}s_{ij}$.

Când instalaţia de punere sub presiune este constituită din unul sau mai multe rezervoare ($\psi = 0$), expresia (3.173) a funcţiei de performanţă devine:

$$F_c=\sum_{ij=1}^{T}\sum_{k=1}^{s_{ij}}c^*_{k,ij}X_{k,ij}\rightarrow \min, \tag{3.174}$$

minimizând energia înglobată sau costul de investiţie al reţelei şi având ca necunoscute variabilele $X_{k,ij}$.

Ţinând seama de relaţia funcţională (3.13), se poate determina în ipoteza clasică a consumului la noduri, pentru fiecare sector k al tronsonului *ij*, pierderea de sarcină specifică $J_{k,ij}$ cu relaţia:

$$J_{k,ij}=\frac{h_{k,ij}}{X_{k,ij}}=\frac{8}{\pi^2 g}\lambda_{k,ij}\frac{Q^2_{ij}}{D^r_{k,ij}} \tag{3.175}$$

unde coeficientul de rezistenţă hidraulică a sectorului k de pe tronsonul *ij*, $\lambda_{k,ij}$, în regim normal de exploatare al turbulenţei tranzitorii se calculează cu relaţia (3.15) explicitată sub forma:

$$\sqrt{\lambda_{k,ij}}=\frac{A_2+\sqrt{A_2^2+20{,}38A_1\sqrt{\lambda_p}}}{2{,}55A_1} \tag{3.176}$$

cu notaţiile:

$$\sqrt{\lambda_p}=\frac{1}{-2\lg\dfrac{\Delta}{D_{k,ij}}+1{,}138} \tag{3.177}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$A_1 = \frac{Q_{ij}\Delta}{D_{k.\,ij}^2 \nu}, \tag{3.178}$$

$$A_2 = (1{,}274\, A_1 + 8)\sqrt{\lambda_p} - 4, \tag{3.179}$$

în care: Δ este rugozitatea absolută a peretelui conductei; ν – viscozitatea cinematică a apei; λ_p – coeficientul de rezistență hidraulică corespunzător regimului turbulent pătratic de mișcare a apei.

Întrucât în condițiile de funcționare reale, debitul pe tronsoanele rețelei de distribuție (în speță de serviciu) scade de la o secțiune la alta în sensul de curgere a apei, acesta creează la ieșirea din conductă, printr-un fenomen asemănător reculului, o creștere a presiunii în conductă, care are ca efect diminuarea pierderii de sarcină, astfel încât în cazul consumului continuu uniform distribuit se obține, ținând seama de (3.32), expresia pierderii de sarcină specifice pe fiecare sector k al tronsonului ij sub forma

$$J_{k,ij}^{*} = \frac{h_{k,ij}^{*}}{X_{k,ij}} = J_{k,ij}\left(\Theta_{ij} - \frac{\Omega_{k,ij}}{X_{k,ij}}\right) \tag{3.180}$$

în care Θ_{ij} și $\Omega_{k,ij}$ sunt date de relațiile (3.30) și (3.31).

Așadar, trebuie determinate valorile variabilelor astfel încât să se minimizeze funcția criterială F_c, în condițiile satisfacerii restricțiilor:

- de tip constructiv:

$$\sum_{k=1}^{s_{ij}} X_{k,ij} = L_{ij} \quad (ij=1,\ldots,T); \tag{3.181}$$

- de tip funcțional, care se scriu în fiecare ipoteză de funcționare și exprimă condiția ca pornind pe diverse trasee, de la instalațiile de punere sub presiune IPP_j (fig. 3.19) la punctele obligate, să fie asigurată presiunea necesară $H_{\mathrm{nec},0}$:

$$Z_{\mathrm{IPP},j} - \sum_{ij=1}^{NT_j}\sum_{k=1}^{s_{ij}} \varepsilon_{ij}\Theta_{ij} J_{k,ij} X_{k,ij} \geq ZT_0 + H_{\mathrm{nec},0} - \sum_{ij=1}^{NT_j}\left(\sum_{k=1}^{s_{ij}} \varepsilon_{ij}\Omega_{k,ij} J_{k,ij} + H_{\mathrm{p},ij}\right) \tag{3.182}$$

în care: NT_j este numărul de tronsoane pe traseul $\mathrm{IPP}_j - O$; ZT_o – cota geodezică în punctul obligat O; $Z_{\mathrm{IPP},j}$ – cota piezometrică la instalația de punere sub presiune j; $H_{\mathrm{p},ij}$ – presiunea introdusă de pompa intermediară amplasată pe tronsonul ij, având expresia (3.63).

Scanned with OKEN Scanner

- de tip hidraulic, caracteristice numai reţelelor inelare, ce exprimă condiţia de conservare a energiei pe fiecare inel m:

$$\sum_{\substack{ij\in m\\ij=1}}^{T}\varepsilon_{ij}\Theta_{ij}J_{k,ij}X_{k,ij}=\sum_{\substack{ij\in m\\ij=1}}^{T}\varepsilon_{ij}\Omega_{k,ij}J_{k,ij}+f_m \qquad (m=1,...,M) \qquad (3.183)$$

în care sarcina piezometrică f_m se exprimă prin relaţiile (3.10), (3.11) şi (3.12), iar orientarea tronsoanelor ε_{ij} este dată de relaţia (3.55).

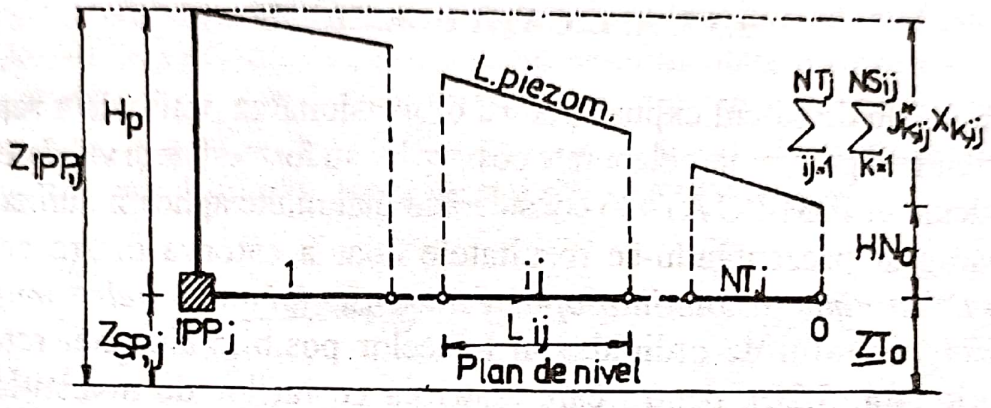


Fig. 3.19 – Schema unui traseu IPP_j – punctul obligat O.

În situaţia că nivelele piezometrice $Z_{IPP,j}$ sunt cunoscute, nefiind necesar a se determina prin optimizare, funcţia obiectiv (3.173) primeşte forma (3.174), iar valorile $Z_{IPP,j}$ intră în componenţa termenului liber al restricţiilor (3.182) şi (3.183).

Funcţia obiectiv (3.173) sau (3.174) şi restricţiile (3.181), (3.182) şi (3.183) fiind liniare în raport cu necunoscutele sistemului, soluţia optimă se determină pe baza metodei programării liniare, utilizând algoritmul Simplex. Într-o soluţie optimă, pentru un tronson dat, de obicei cel mult două din variabilele $X_{k,ij}$ vor fi diferite de zero, astfel încât soluţia respectivă este realizabilă din punct de vedere tehnic, mai ales dacă lungimea tronsonului este însemnată.

Determinând prin optimizare necunoscutele $Z_{IPP,j}$, la reţelele funcţionând prin pompare rezultă înălţimile de pompare corespunzătoare:

$$H_{p,j}=Z_{IPP,j}-Z_{SP,j} \qquad (3.184)$$

în care $Z_{SP,j}$ este cota nivelului apei în bazinul de aspiraţie al IPP_j.

Ţinând seama de pierderea de sarcină $H_{IPP,j-n}$ pe traseul IPP_{j-n}:

$$H_{IPP,j-n}=\sum_{ij=1}^{NT_j}\sum_{k=1}^{s_{ij}}\Theta_{ij}J_{k,ij}X_{k,ij}-\sum_{ij=1}^{NT_j}\left(\sum_{k=1}^{s_{ij}}\Omega_{k,ij}J_{k,ij}+H_{p,ij}\right) \qquad (3.185)$$

se obţin cota piezometrică Z_n şi presiunea disponibilă H_n în nodul de consum n, cu relaţiile:

$$Z_n = Z_{IPP,j} - H_{IPP,j-n}, \tag{3.186}$$

$$H_n = Z_n - ZT_n, \tag{3.187}$$

în care ZT_n este cota geodezică în nodul de consum n.

Pe baza modelului de optimizare liniară s-a elaborat programul ordinator OPLIRA.

3.5.5. APLICAŢII NUMERICE

Modelele de calcul expuse pentru dimensionarea optimală a reţelelor de distribuţie şi programele elaborate pe baza lor au fost testate şi validate pe un microcalculator IBM-PC AT486 considerând mai multe aplicaţii numerice, la acest paragraf prezentându-se rezultatele doar a câtorva dintre acestea.

• *Determinarea soluţiilor optime ale traseului unei reţele ramificate.* Se consideră graful de ordinul 9 al traseelor posibile ale unei reţele de distribuţie (fig. 3.20), pentru care matricea costurilor de investiţie este:

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 98 & 83 & 88 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 98 & \infty & 85 & \infty & \infty & 73 & 68 & \infty & \infty \\ 83 & 85 & \infty & 33 & 33 & 48 & 90 & \infty & \infty \\ 88 & \infty & 33 & \infty & 33 & \infty & \infty & 93 & \infty \\ \infty & \infty & 33 & 33 & \infty & 33 & \infty & 43 & \infty \\ \infty & 73 & 48 & \infty & 33 & \infty & 38 & 43 & \infty \\ \infty & 68 & 90 & \infty & \infty & 38 & \infty & 98 & 40 \\ \infty & \infty & \infty & 93 & 43 & 43 & 98 & \infty & 95 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 40 & 95 & \infty \end{bmatrix}.$$

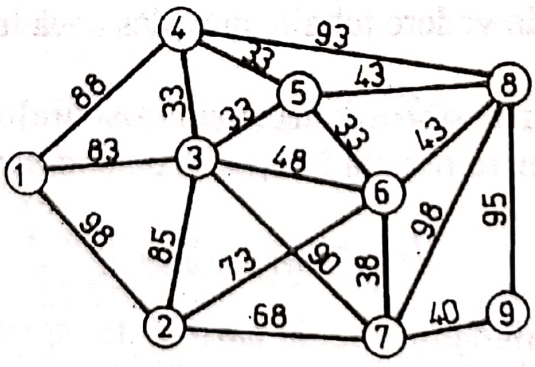


Fig. 3.20 – Graful traseelor posibile.

Utilizând programul OTREDIRA s-au obţinut soluţiile de trasee optime după criteriul costului de investiţie minim, prezentate în figura 3.21.

Scanned with OKEN Scanner

Întrucât soluția optimă obținută este multiplă, luarea deciziei de adoptare a uneia dintre aceste alternative se face considerând și alte criterii, conducând în final la economie de conducte, terasamente și energie electrică de pompare.

• *Studiul comparativ al dimensionării unei rețele inelare alimentate de la două stații de pompare.* Pentru rețeaua inelară cu topologia și caracteristicile din figura 3.11 s-a efectuat un studiu comparativ de dimensionare utilizând modelele de calcul MVE, MOM, MON și MOL, ultimul fiind aplicat, atât în ipoteza consumului la noduri (MOL–N), cât și a consumului continuu uniform distribuit (MOL–D).

Calculul s-a făcut considerând regimul de curgere a apei în conducte ca fiind turbulent tranzitoriu, iar criteriul de optimizare adoptat este CTA.

Având în vedere că pentru debitul de alimentare a rețelei diametrele tronsoanelor pot lua valori D_{ij}=100...600 mm, se consideră parametrii hidraulici λ_* =0,0171, β = 1,937 ca valori medii ale valorilor extreme corespunzătoare limitelor posibile de variație a diametrelor.

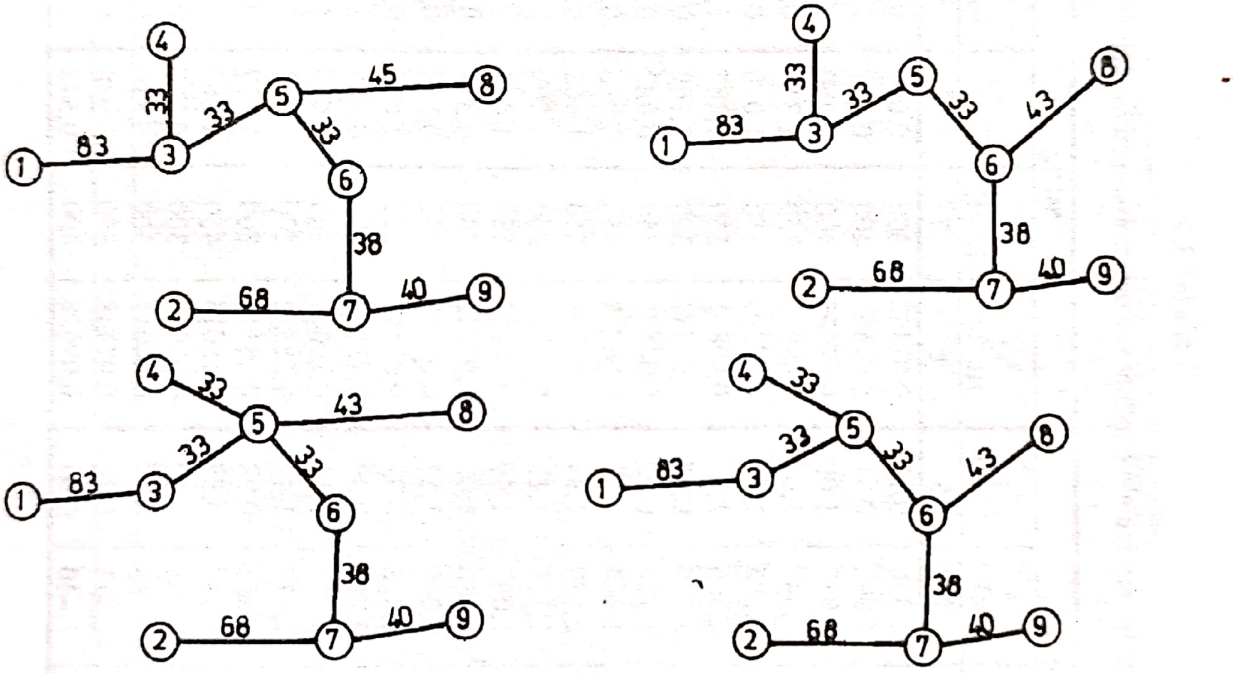


Fig. 3.21 – Traseele optime ale rețelei de distribuție.

Rezultatele calculului de dimensionare, efectuat cu ajutorul programelor DIOPREDA, OPNELIRA și OPLIRA, referitoare la caracteristicile hidraulice ale conductelor, sunt prezentate în tabelele 3.9 și 3.10. Semnul (–) pentru debitele și pierderile de presiune, pe unele tronsoane din tabelele 3.9 și 3.10, reprezintă schimbarea sensului de curgere pe tronsoanele respective față de sensurile considerate inițial în figura 3.11.

În figura 3.22 s-au reprezentat grafic, pornind de la punctul de alimentare 32 la nodul obligat 1, pe traseul 32-18-17-16-15-14-13-7-1, liniile piezometrice obținute prin utilizarea modelelor de calcul menționate și s-au înscris valorile corespunzătoare ale funcției criteriale F_c, ale consumului energetic pentru pompare W_e, precum și ale consumului specific de energie pentru distribuția apei w_{sd}.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.9

Caracteristicile hidraulice ale conductelor determinate cu modelele MVE, MOM, MON

Trons. i-j	L_{ij} [m]	MVE				MOM				MON			
		Q_{ij} [m³/s]	D_{ij} [mm]	h_{ij} [m]	V_{ij} [m/s]	Q_{ij} [m³/s]	D_{ij} [mm]	h_{ij} [m]	V_{ij} [m/s]	Q_{ij} [m³/s]	D_{ij} [mm]	h_{ij} [m]	V_{ij} [m/s]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2-1	480	0,01372	150	2,370	0,78	0,01488	300	0,097	0,21	0,01715	200	0,838	0,55
3-2	560	0,04476	250	1,992	0,91	0,04467	400	0,221	0,36	0,04557	250	2,062	0,93
4-3	450	0,07719	300	1,812	1,09	0,07195	400	0,460	0,57	0,07005	350	0,682	0,73
5-4	410	0,10431	350	1,345	1,08	0,08931	350	1,316	0,93	0,08692	400	0,477	0,69
6-5	470	0,12616	350	2,235	1,31	0,07299	350	1,008	0,76	0,08514	350	1,039	0,89
12-6	380	0,15178	400	1,306	1,21	0,09861	350	1,487	1,03	0,11076	400	0,707	0,88
8-7	470	0,02729	200	2,010	0,87	0,01984	300	0,169	0,28	0,01934	200	1,034	0,62
9-8	540	0,06848	300	1,722	0,97	0,04405	350	0,422	0,46	0,03863	250	1,444	0,79
10-9	460	0,11621	350	1,864	1,21	0,06718	350	0,836	0,70	0,07668	350	0,830	0,80
11-10	515	0,16874	400	2,177	1,34	0,08398	350	1,462	0,87	0,10410	400	0,850	0,83
12-11	450	0,23271	500	1,133	1,19	0,13028	400	1,509	1,04	0,13969	450	0,720	0,88
32-12	350	0,42005	600	1,097	1,49	0,26445	500	1,472	1,35	0,28601	700	0,236	0,74
14-13	485	0,04911	250	2,066	1,00	0,02912	300	0,377	0,41	0,02019	200	1,159	0,64
15-14	545	0,11293	350	2,088	1,17	0,07325	400	0,578	0,58	0,07628	350	0,974	0,79
16-15	470	0,14540	450	0,812	0,91	0,07548	350	1,078	0,78	0,06911	350	0,694	0,72
17-16	180	0,19425	500	0,319	0,99	0,13865	400	0,684	1,10	0,14401	450	0,305	0,91
18-17	220	0,22695	500	0,527	1,16	0,15660	400	1,066	1,25	0,16457	450	0,484	1,04
32-18	500	0,27757	500	1,777	1,41	0,25322	500	1,928	1,29	0,26553	600	0,640	0,94
20-19	475	0,03088	200	2,582	0,98	0,05114	300	1,137	0,72	0,06085	350	0,549	0,63
21-20	530	0,08192	350	1,087	0,85	0,15016	450	1,260	0,94	0,14410	450	0,900	0,91
22-21	430	-0,10602	350	-1,456	1,10	-0,03066	300	-0,370	0,43	-0,02680	300	-0,226	0,38
23-22	550	-0,05587	300	-1,183	0,79	0,04011	300	0,810	0,57	0,01985	250	0,410	0,40
24-23	420	-0,01337	150	-1,973	0,76	0,07448	350	0,938	0,77	0,05484	350	0,397	0,57
31-24	300	0,00833	125	1,440	0,68	0,09618	400	0,548	0,77	0,07654	400	0,273	0,61

Scanned with OKEN Scanner

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26-25	490	0,03270	200	2,976	1,04	0,03873	300	0,673	0,55	0,03619	250	1,155	0,74
27-26	510	0,07723	300	2,056	1,09	0,07319	350	1,099	0,76	0,08074	400	0,515	0,64
28-27	440	-0,03105	200	-2,417	0,99	0,02257	250	0,542	0,46	0,01942	250	0,315	0,40
29-28	190	-0,00791	125	-0,825	0,64	0,05624	300	0,550	0,80	0,05534	300	0,401	0,78
30-29	250	0,00399	100	0,914	0,51	0,08290	350	0,691	0,86	0,07939	400	0,244	0,63
31-30	400	0,03376	250	0,824	0,69	0,13064	400	1,349	1,04	0,11834	450	0,464	0,74
32-31	340	0,07343	250	3,176	1,50	0,25816	600	0,516	0,91	0,22622	600	0,319	0,80
7-1	310	0,01009	125	2,154	0,82	0,00893	200	0,196	0,28	0,00666	125	0,969	0,54
8-2	300	0,00934	125	1,795	0,76	0,01059	200	0,268	0,34	0,01196	150	1,138	0,68
9-3	335	0,00811	125	1,526	0,66	0,01325	200	0,468	0,42	0,01605	200	0,516	0,51
10-4	320	0,00845	125	1,577	0,69	0,01821	200	0,843	0,58	0,01869	200	0,659	0,60
11-5	370	0,01582	150	2,408	0,90	0,05399	300	0,987	0,76	0,03946	250	1,031	0,80
13-7	340	0,01655	150	2,415	0,94	0,02285	300	0,162	0,32	0,02108	200	0,883	0,67
14-8	320	0,01728	150	2,470	0,98	0,03550	300	0,369	0,50	0,04179	250	0,996	0,85
15-9	345	0,01101	125	2,836	0,90	0,04076	300	0,525	0,58	0,02864	250	0,518	0,58
16-10	330	0,00489	100	1,784	0,62	0,05038	300	0,767	0,71	0,04025	300	0,377	0,57
18-11	340	0,00234	100	0,453	0,30	0,05818	300	1,053	0,82	0,05435	350	0,316	0,57
13-25	360	-0,00315	100	-0,842	0,40	-0,02944	300	-0,286	0,42	-0,03661	250	-0,867	0,75
14-26	350	-0,00470	100	-1,753	0,60	-0,04261	300	-0,582	0,60	-0,03694	250	-0,858	0,75
27-15	340	0,02977	200	1,721	0,95	0,08977	350	1,103	0,93	0,08705	400	0,397	0,69
16-28	330	0,00447	100	1,500	0,57	-0,02669	250	-0,568	0,54	-0,00482	250	-0,018	0,10
17-29	320	0,01101	125	2,632	0,90	-0,00375	125	-0,438	0,31	-0,00114	100	-0,112	0,15
18-30	370	0,00518	100	2,231	0,66	-0,00465	200	-0,064	0,15	0,00352	150	0,138	0,20
25-19	340	-0,00632	100	-3,009	0,81	-0,02657	250	-0,581	0,54	-0,03628	250	-0,805	0,74
26-20	330	-0,01080	125	-2,615	0,88	-0,05878	300	-1,044	0,83	-0,04302	350	-0,196	0,45
21-27	320	0,18657	400	1,646	1,49	0,18891	450	1,204	1,19	0,19690	500	0,582	1,00
28-22	320	-0,01097	125	-2,612	0,89	-0,03159	300	-0,292	0,45	-0,00747	250	-0,038	0,15
30-23	290	-0,00453	100	-1,353	0,58	0,00360	150	0,139	0,20	0,00299	125	0,199	0,24

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.10

Caracteristicile hidraulice ale conductelor determinate cu modelele MOL-N, MOL-D

Trons. *i-j*	MOL-N						MOL-D					
	Q_{ij} [m³/s]	Sec-tor *k*	$X_{k,ij}$ [m]	$D_{k,ij}$ [mm]	$h_{k,ij}$ [m]	$V_{k,ij}$ [m/s]	Q_{ij} [m³/s]	Sec-tor *k*	$X_{k,ij}$ [m]	$D_{k,ij}$ [mm]	$h_{k,ij}$ [m]	$V_{k,ij}$ [m/s]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2-1	0,01678	1	480	250	0,260	0,34	0,01698	1	480	250	0,306	0,35
3-2	0,04538	1	27	400	0,009	0,36	0,04585	1	22	400	0,001	0,37
		2	534	350	0,351	0,47		2	538	350	0,343	0,48
4-3	0,07099	1	273	400	0,216	0,57	0,07217	1	183	400	0,107	0,57
		2	177	350	0,275	0,74		2	267	350	0,358	0,75
5-4	0,08745	1	410	400	0,483	0,70	0,08943	1	410	400	0,443	0,71
6-5	0,07716	1	470	400	0,435	0,61	0,07890	1	470	400	0,407	0,63
12-6	0,10278	1	185	500	0,096	0,52	0,10452	1	103	500	0,020	0,53
		2	195	400	0,313	0,82		2	277	400	0,377	0,83
8-7	0,01996	1	96	300	0,029	0,28	0,01987	1	28	300	0,001	0,28
		2	374	250	0,282	0,41		2	442	250	0,355	0,41
9-8	0,04966	1	540	350	0,422	0,52	0,04957	1	540	350	0,397	0,52
10-9	0,07172	1	379	400	0,305	0,57	0,07285	1	225	400	0,144	0,58
		2	81	350	0,128	0,75		2	235	350	0,312	0,76
11-10	0,09208	1	6	500	0,002	0,47	0,09797	1	94	500	0,012	0,50
		2	509	400	0,663	0,73		2	421	400	0,544	0,78
12-11	0,12788	1	319	500	0,251	0,65	0,13111	1	236	500	0,141	0,67
		2	131	400	0,322	1,02		2	214	400	0,420	1,04
32-12	0,26622	1	350	600	0,450	0,94	0,27119	1	350	600	0,360	0,96
14-13	0,02521	1	485	300	0,227	0,36	0,02526	1	485	300	0,231	0,36
15-14	0,05825	1	159	450	0,047	0,37	0,05872	1	72	450	0,003	0,37
		2	386	350	0,411	0,61		2	473	350	0,470	0,61

Scanned with OKEN Scanner

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16-15	0,07150-	1	389	400	0,311	0,57	0,06994	1	206	400	0,118	0,56
		2	81	350	0,127	0,74		2	264	350	0,334	0,73
17-16	0,12354	1	66	500	0,048	0,63	0,12257	1	180	400	0,297	0,98
		2	114	400	0,263	0,98						
18-17	0,13930	1	43	500	0,040	0,71	0,13864	1	220	400	0,491	1,10
		2	177	400	0,514	1,11						
32-18	0,25872	1	500	600	0,609	0,92	0,26230	1	500	600	0,524	0,93
20-19	0,05466	1	475	350	0,447	0,57	0,05439	1	475	350	0,407	0,57
21-20	0,14958	1	480	500	0,513	0,76	0,14945	1	452	500	0,411	0,76
		2	50	400	0,165	1,19		2	78	400	0,086	1,19
22-21	-0,05292	1	340	450	-0,085	0,33	-0,03930	1	430	450	-0,068	0,25
		2	90	350	-0,079	0,55						
23-22	0,03393	1	51	350	0,019	0,35	0,03627	1	262	350	0,097	0,38
		2	499	300	0,412	0,48		2	388	300	0,245	0,51
24-23	0,06466	1	420	450	0,153	0,41	0,06678	1	270	450	0,082	0,42
								2	150	350	0,145	0,69
31-24	0,08636	1	34	500	0,013	0,44	0,08848	1	300	400	0,302	0,70
		2	266	400	0,306	0,69						
26-25	0,03711	1	227	350	0,102	0,39	0,03721	1	221	350	0,082	0,39
		2	263	300	0,257	0,53		2	269	300	0,235	0,53
27-26	0,08245	1	510	400	0,536	0,66	0,08173	1	510	400	0,477	0,65
28-27	0,03953	1	440	350	0,223	0,41	0,03837	1	262	350	0,106	0,40
								2	178	300	0,148	0,54
29-29	0,06559	1	190	350	0,254	0,68	0,06957	1	190	350	0,221	0,72
30-29	0,09444	1	250	400	0,342	0,75	0,09810	1	4	500	0,001	0,50
								2	246	400	0,289	0,78
31-30	0,12749	1	365	500	0,286	0,65	0,13003	1	250	500	0,150	0,66
		2	35	400	0,087	1,02		2	150	400	0,252	1,04

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.10 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32-31	0,24520	1	340	600	0,373	0,87	0,24985	1	340	600	0,296	0,88
7-1	0,00703	1	310	250	0,033	0,14	0,00683	1	310	250	0,037	0,14
8-2	0,01178	1	300	250	0,084	0,24	0,01151	1	300	250	0,086	0,23
9-3	0,01493	1	335	250	0,146	0,30	0,01422	1	335	250	0,139	0,29
10-4	0,01910	1	320	300	0,089	0,27	0,01830	1	138	300	0,027	0,26
								2	182	250	0,103	0,37
11-5	0,04796	1	370	350	0,271	0,50	0,04820	1	370	350	0,244	0,50
13-7	0,02083	1	41	300	0,013	0,29	0,02072	1	68	300	0,009	0,29
		2	299	250	0,245	0,42		2	272	250	0,208	0,42
14-8	0,03120	1	133	350	0,043	0,32	0,03094	1	237	350	0,063	0,32
		2	187	300	0,131	0,44		2	83	300	0,031	0,44
15-9	0,04350	1	345	350	0,210	0,45	0,04157	1	345	350	0,170	0,43
16-10	0,04771	1	46	450	0,010	0,30	0,04216	1	330	350	0,166	0,44
		2	284	350	0,205	0,50						
18-11	0,06265	1	340	350	0,416	0,65	0,06555	1	340	350	0,397	0,68
13-25	-0,03134	1	302	350	-0,099	0,33	-0,03117	1	119	350	-0,028	0,32
		2	58	300	-0,041	0,44		2	241	300	-0,182	0,44
14-26	-0,04940	1	350	350	-0,271	0,51	-0,04871	1	350	350	-0,294	0,51
27-15	0,08148	1	340	400	0,350	0,65	0,08158	1	340	400	0,299	0,65
16-28	-0,03515	1	330	350	-0,134	0,37	-0,02902	1	326	350	-0,102	0,30
								2	4	300	-0,001	0,41
17-29	-0,00595	1	320	200	-0,076	0,20	-0,00563	1	320	250	-0,027	0,20
18-30	0,01368	1	370	250	0,137	0,28	0,01501	1	370	250	0,174	0,31
25-19	-0,03009	1	340	300	-0,223	0,43	-0,02983	1	330	350	-0,343	0,57
21-27	0,17292	1	320	500	0,452	0,88	0,17347	1	320	500	0,363	0,88
28-22	-0,04767	1	320	450	-0,065	0,30	-0,03639	1	320	450	-0,041	0,23
30-23	0,00724	1	290	200	0,099	0,23	0,00746	1	290	200	0,127	0,24

Scanned with OKEN Scanner

În figura 3.23 s-a pus în evidenţă abaterea liniilor piezometrice reale faţă de forma optimă teoretică a acestora, considerându-se acelaşi traseu. În urma studiului efectuat se constată că:

– toate conductele reţelei funcţionează în domeniul turbulenţei tranzitorii;

– faţă de diametrele obţinute cu MVE se înregistrează pe ansamblu o creştere a diametrelor conductelor la utilizarea modelelor de optimizare (MOM, MON, MOL), explicabilă prin faptul că modelul clasic nu ţine seama de consumul minim de energie şi de diversitatea parametrilor economici, care determină costul de investiţie şi exploatare;

– în comparaţie cu rezultatele obţinute prin aplicarea MVE, rezultatele furnizate de modelele de optimizare sunt mai economice, obţinându-se o micşorare substanţială a consumului specific de energie pentru distribuţia apei (MOM–29,9 %; MON–59,8 %; MOL–N – 70,9 %; MOL–D – 74,3 %), precum şi reducerea consumului energetic pentru pomparea apei (MOM – 18,4 %; MON –18,6 %; MOL–N – 27,2 %; MOL–D – 27,8 %), în condiţiile în care în toate cazurile şi funcţia obiectiv are valori mai mici (MOM – 5,8 %; MON – 6,6 %; MOL–N – 4 %; MOL–D – 4,8 %);

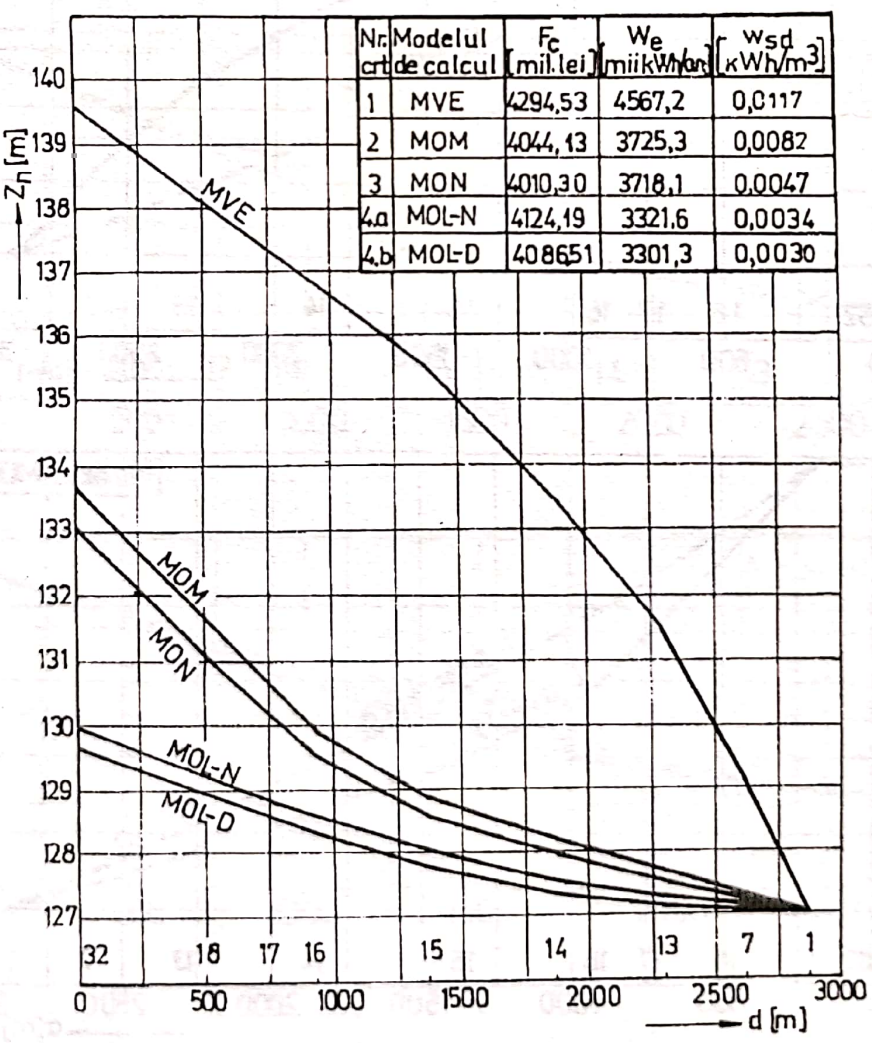


Fig. 3.22 – Reprezentarea liniilor piezometrice pe traseul 32–18–17–16–15–14–13–7–1.

Scanned with OKEN Scanner

– rezultatele optime obţinute prin utilizarea MOL sunt superioare din punct de vedere energetic celor oferite de MOM şi MON, conducând la o economie de energie electrică pentru pompare de 11 %, în condiţiile în care funcţia obiectiv are o uşoară creştere, dar aceasta este nesemnificativă (sub 2 %);

– de asemenea aplicarea MOL, în ipoteza consumului uniform distribuit, a condus la cele mai mici abateri faţă de forma optimă a liniei piezometrice şi mai ales la o distribuţie a energiei de pompare mai uniformă , prin eliminarea presiunilor disponibile sporite pe unele trasee chiar la consum maxim, fenomen reflectat şi de cea mai scăzută valoare a consumului energetic specific, de 0,003 kWh/m^3;

– reducerea în acest fel a presiunii în reţeaua de distribuţie are o deosebită importanţă practică, contribuind implicit la micşorarea pierderilor de apă din sistem.

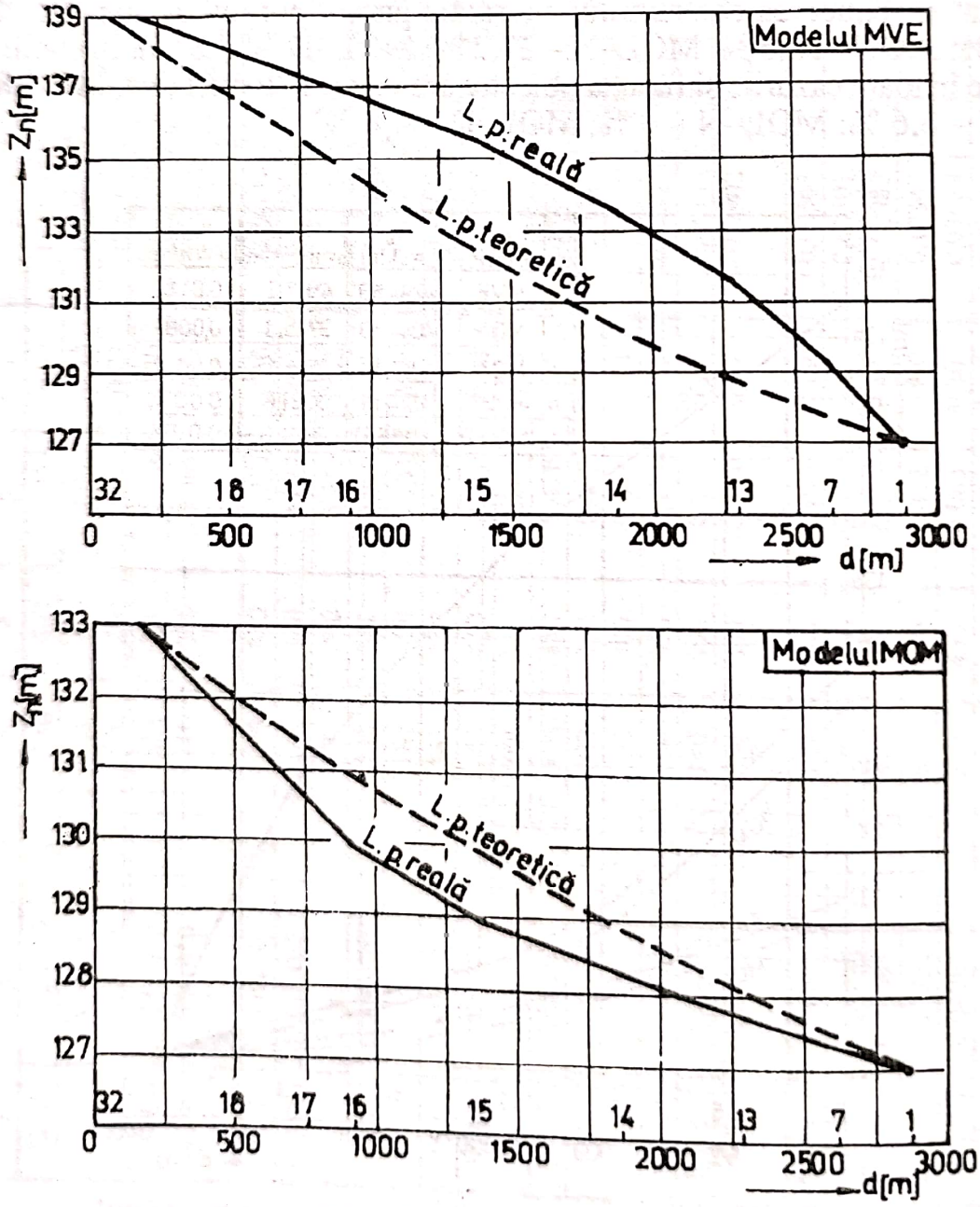
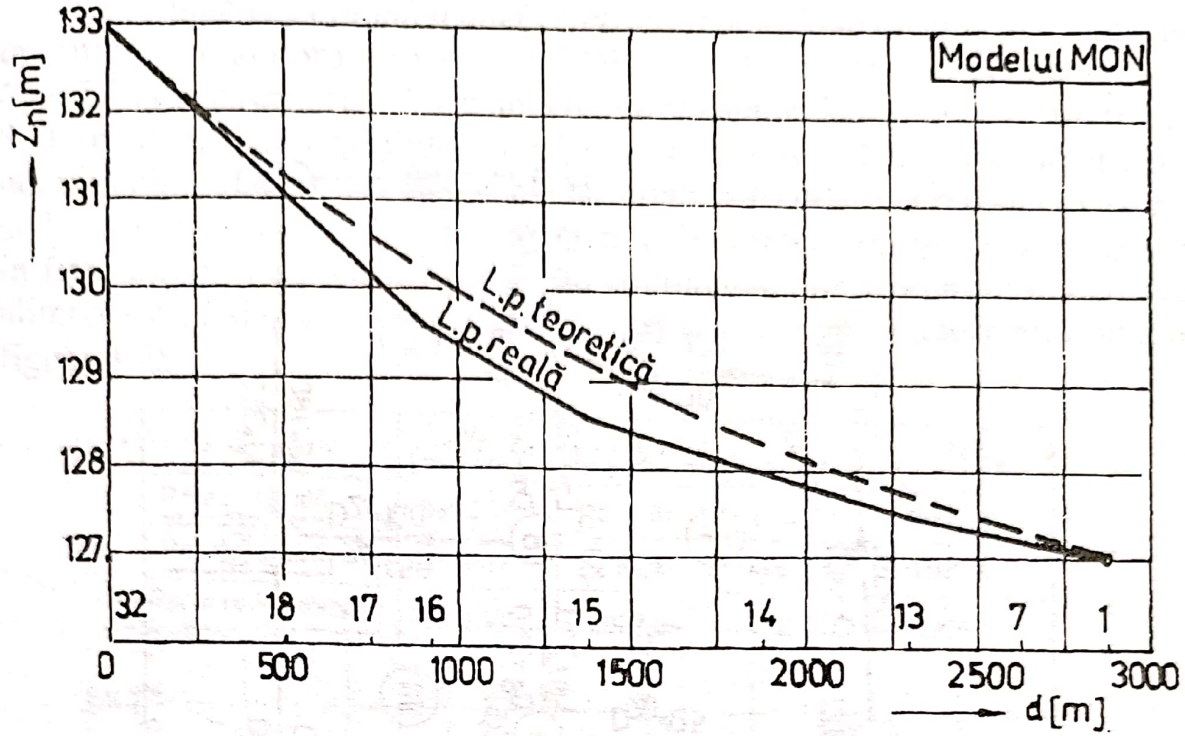
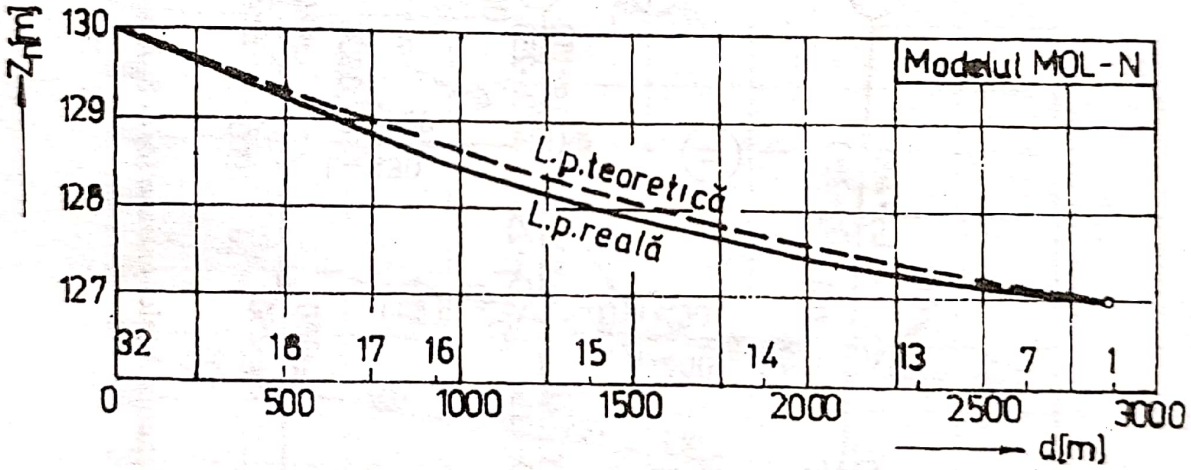
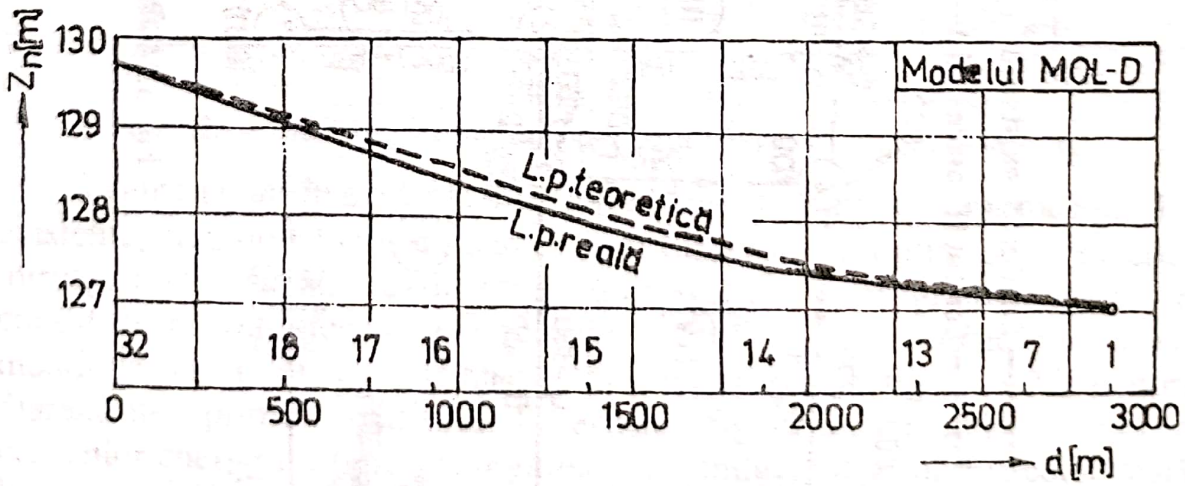


Fig. 3.23 – Abaterea liniilor







piezometrice reale față de linia optimă teoretică.

Scanned with OKEN Scanner

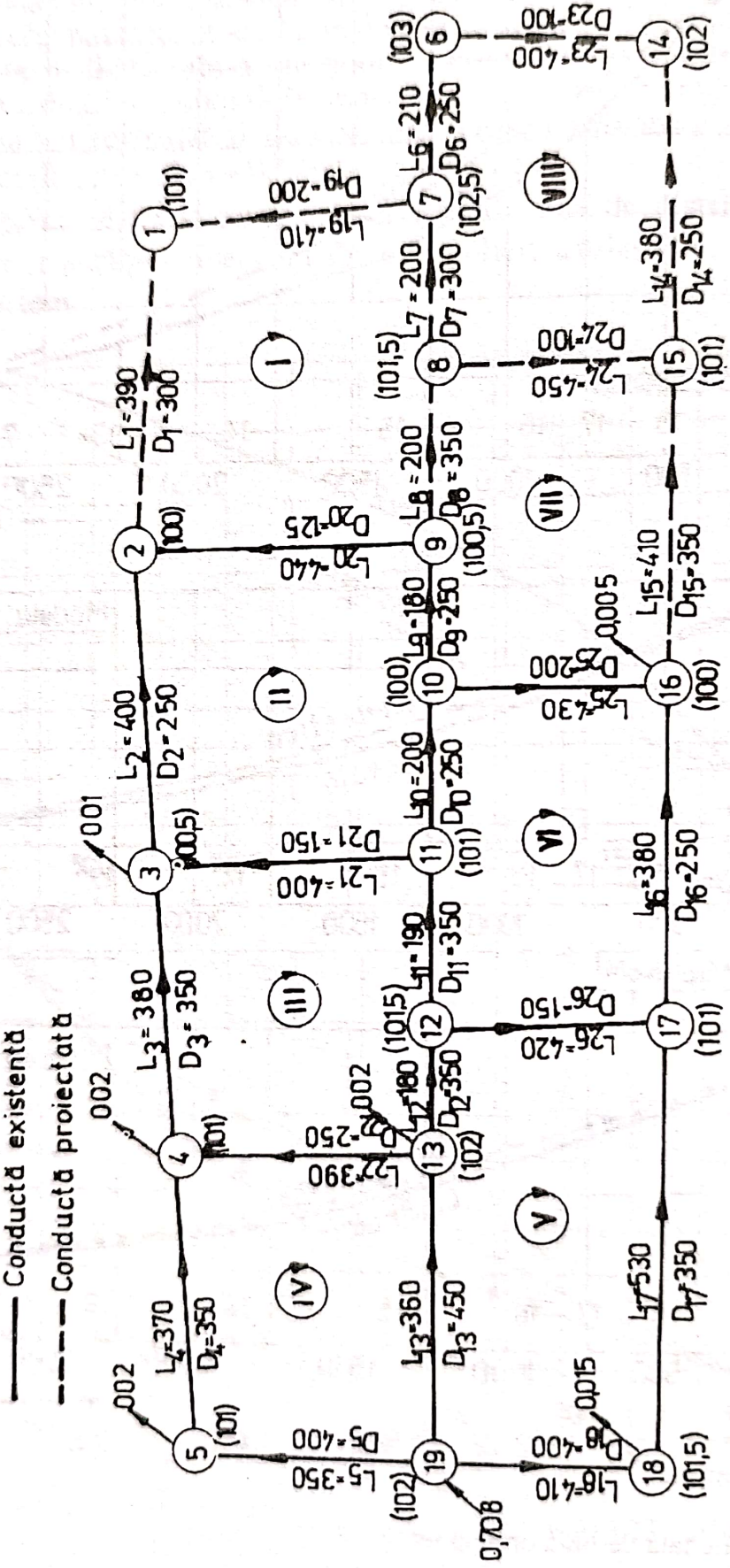


Fig. 3.24 – Schema rețelei extinse ($M = 8$, $N = 19$, $T = 26$).

• *Extinderea optimă a unei rețele existente.* S-au efectuat calculele de optimizare cu ajutorul programului DIOPREDA pentru extinderea optimă (fig. 3.24) după criteriul WT a unei rețele existente de forma celei din figura 3.10, ce distribuie un debit de 0,618 m^3/s, cunoscând cota piezometrică a nodului obligat Z_6 = 127 m. Datele esențiale referitoare la rețeaua existentă și diametrele optime ale conductelor noi ale rețelei extinse sunt prezentate în figura 3.24. Pe traseul format din conductele cuprinse între punctul de alimentare 19 și nodul obligat 6, a rezultat graficul piezometric prezentat în figura 3.25.

Sistemul	W_c [mii kWh]	W_e [mii kWh/an]	F_c [mii kWh/an]	w_{sd} [kWh/m³]
Rețea inițială	9393,18	1276,91	2544,99	0,00442
Rețea extinsă	12570,17	2764,50	4461,47	0,02068
Rețea redim. complet	15317,93	2067,84	4135,76	0,00611

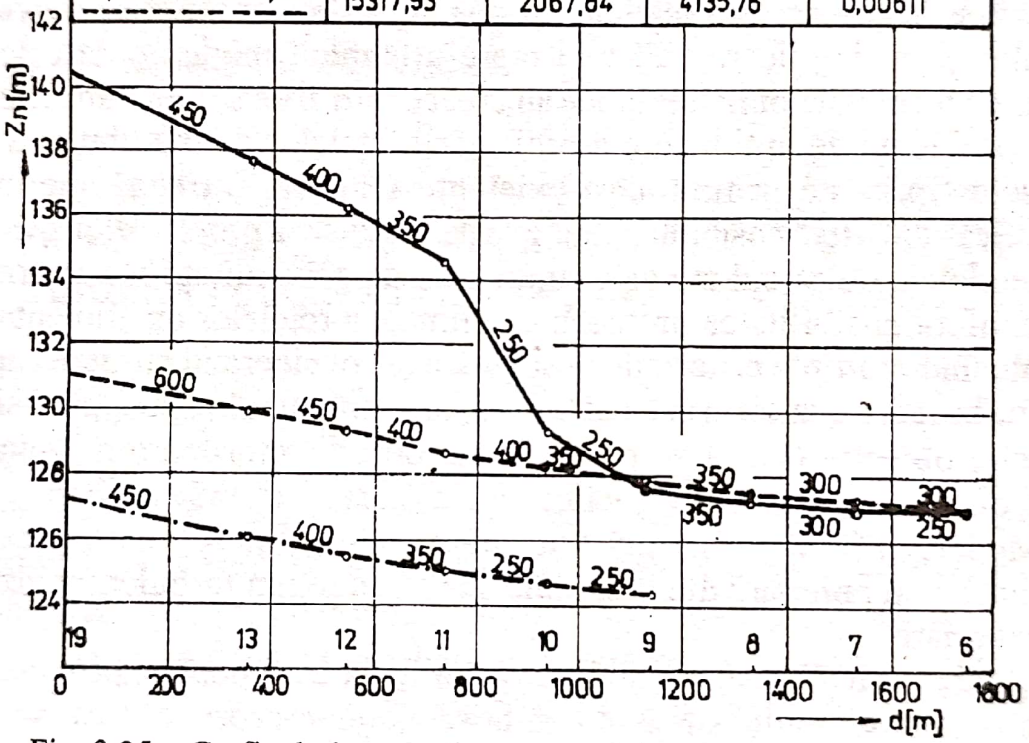


Fig. 3.25 – Graficul piezometric pe traseul 19–13–12–11–10–9–8–7–6.

Pentru a pune în evidență diferențele datorate extinderii optime a rețelei existente, față de situația în care s-ar fi dimensionat optim de la început întreaga rețea (inițială + extindere), s-a utilizat același program de calcul. În condițiile de redimensionare completă, graficul piezometric pe traseul menționat ar fi cel reprezentat cu linie întreruptă în figura 3.25, pentru diametrele optime specificate. Pe aceeași figură s-au înscris și valorile criteriilor energetice (energia înglobată în conducte W_c, energia consumată la pompare W_e, consumul total anual de energie F_c, consumul specific de energie pentru distribuția apei w_{sd}). Se constată că, în urma extinderii, sarcina optimă de pompare a crescut de la 25,17 m la 38,48 m, iar valoarea funcției obiectiv, de la 2 545 mii kWh/an la 4 461 mii kWh/an (cu cca 43 %).

Scanned with OKEN Scanner

La redimensionarea reţelei complete a rezultat sarcina optimă de pompare de 28,78 m pentru o valoare optimă a funcţiei obiectiv de 4 135 mii kWh/an, care este mai scăzută decât la extindere (cu cca 7 %), ceea ce era de altfel previzibil. Conductele deja existente (cu diametre precizate) creează restricţii în găsirea unei soluţii optime satisfăcătoare. În consecinţă, soluţia optimă de extindere a unei reţele va conduce la o rezolvare cu consum energetic mai mare (în cazul de faţă cu 7,3 %) faţă de situaţia dimensionării optime, a întregului sistem de la început. De asemenea, distribuţia energiei de pompare este foarte neuniformă, înregistrându-se un consum specific de energie sporit pentru distribuţia apei (în cazul analizat cu aproximativ 70 %).

3.5.6. CONCLUZII

Programarea matematică, ca procedeu de bază în optimizarea structurilor, în general, şi a reţelelor de apă, în particular, împreună cu teoria grafurilor şi cu implicarea tot mai mare a tehnicii moderne de calcul în rezolvarea formulărilor matematice au creat condiţii de soluţionare eficientă a unor probleme de optimizare a proiectării reţelelor de distribuţie a apei. Diversele tipuri de programare existente (liniară, întreagă, neliniară, geometrică etc.) oferă posibilităţi multiple de rezolvare a problemelor specifice.

Modelele de calcul expuse, cu un grad de generalitate şi performanţe sporite, oferă posibilitatea proiectării optimale a reţelelor de alimentare cu apă, folosind multiple criterii de optimizare şi considerând curgerea apei în regim turbulent tranzitoriu sau pătratic, şi au avantajul că prin opţiuni simple în funcţia obiectiv (3.52) se pot exprima criterii referitoare nu numai la costuri ci şi la consumuri energetice, consumuri de resurse deficitare etc.

Modelul MOM a fost adaptat pentru reţele noi sau parţial extinse, alimentate prin pompare din mai multe surse, în regim turbulent tranzitoriu de funcţionare.

Modelul MON este aplicabil reţelelor inelare alimentate prin pompare de la una sau mai multe surse, putându-se alege în cadrul său ca variabile fie pierderile de sarcină, fie debitele în conducte.

Modelul MOL este aplicabil oricărei reţele inelare sau ramificate când aceasta funcţionează în diferite regimuri de exploatare, prin pompare ori gravitaţional, atât în situaţiile în care trebuie determinate cotele piezometrice la instalaţiile de punere sub presiune (staţii de pompare exterioare sau rezervoare), cât şi atunci când aceste cote sunt date. El permite determinarea unei repartiţii optime a diametrelor comerciale, pe lungimea fiecărui tronson al reţelei, şi a lungimii sectoarelor de tronsoane, corespunzătoare acestor diametre, şi oferă posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit; conduce de asemenea la o mai uniformă distribuţie a energiei de pompare, putându-se astfel stabili mai precis pierderile de energie în sistem şi parametrii staţiilor de pompare.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă prin specificul lui MON poate rezolva dimensionarea optimală doar a reţelelor noi, utilizarea MOL oferă posibilitatea dimensionării optimale şi pentru extinderi de reţele.

Pentru diferite reţele analizate economia de energie electrică, pe seama micşorării pierderilor de presiune şi reducerea costului de exploatare prin aplicarea modelelor de optimizare elaborate, reprezintă valori de cca 10...30 %, de o deosebită importanţă în conjunctura economică şi energetică actuală. Soluţiile optime de reţele pentru distribuţia apei sunt afectate de mărimea pierderilor şi risipei de apă, luate în calculul repartiţiei de debit, oricare ar fi funcţia obiectiv şi criteriul de optimizare adoptat.

În general, costul specific al lucrărilor de reparaţii, întreţinere şi revizii periodice este comparabil cu economiile specifice realizabile prin micşorarea pierderilor şi risipei de apă, de unde necesitatea efectuării de studii care să evidenţieze principalele cauze şi factori ce influenţează aceste pierderi şi să propună soluţii pentru reducerea lor.

3.6. ASPECTE HIDRAULICE ALE FUNCŢIONĂRII ÎNDELUNGATE A CONDUCTELOR CU IMPLICAŢII ASUPRA CONSUMULUI DE ENERGIE DIN REŢEA

3.6.1. GENERALITĂŢI

Modelele de optimizare prezentate, alături de cele existente în publicaţiile din ultimele decenii, soluţionează, în majoritatea cazurilor, problema relativ complicată a dimensionării optimale sau a analizei reţelelor de distribuţie, iar ordinatoarele electronice înlătură dificultăţile de calcul create de mărimea, complexitatea şi diversele ipoteze de funcţionare a reţelelor, rămânând ca efortul specialiştilor să se concentreze la stabilirea cât mai corectă a datelor de bază, ce condiţionează exactitatea rezultatelor.

O atenţie sporită trebuie acordată *aprecierii suficient de exacte a rugozităţii conductelor*, ce stă la baza calculului pierderilor de sarcină, întrucât acestea au o influenţă energetică importantă asupra soluţiei optime de reţea într-un sistem de alimentare cu apă.

În continuare se evaluează comportarea în timp a conductelor de alimentare cu apă, cu principalele implicaţii ale creşterii rugozităţii acestora în exploatare, realizându-se diagrame de variaţie a parametrilor λ_*, β în funcţie de viteza de creştere a rugozităţii în timp, pentru conducte din diferite materiale, în scopul utilizării lor în calculele de analiză şi dimensionare a extinderilor şi reabilitărilor de reţele.

Scanned with OKEN Scanner

3.6.2. EVALUAREA COMPORTĂRII ÎN TIMP A CONDUCTELOR

La dimensionarea hidraulică a reţelelor de distribuţie se consideră conducte noi, curate şi îmbinate corect, iar rugozitatea absolută a acestora se adoptă potrivit stasului 4163, în funcţie de materialul conductei.

Între valorile rugozităţii absolute recomandate de actele normative şi cele indicate în literatura de specialitate apar diferenţe destul de mari, chiar pentru acelaşi material. Astfel, după Idelcik [91], pentru tuburi din fontă $\Delta = 0{,}25\ldots1{,}5$ mm, iar, după Kittner [116], pentru conducte din oţel zincat $\Delta = 0{,}3\ldots3$ mm.

Pe de altă parte, numeroase măsurători efectuate de diverşi cercetători [32], [91], [216], [260] arată o creştere în timp a rugozităţii pereţilor interiori ai conductelor, ca urmare a fenomenelor de corodare, depunerilor de material şi îmbătrânire, care conduce la reducerea capacităţii de transport a acestora până la 50 %, trebuind ca, pentru a realiza debitul luat în calculul de dimensionare, să se mărească panta piezometrică şi deci proporţional energia de pompare. Astfel, pentru conducte din fontă cu diametrul de 200 mm, după circa 40 ani de funcţionare, s-au obţinut [260] valori ale coeficientului λ de 0,034...0,058, corespunzătoare unei rugozităţi absolute medii de aproximativ 1,3...5 mm.

De asemenea, reziduurile de fier şi de substanţe minerale depuse în conducte, precum şi produsele corodării acestora conduc şi la modificarea calităţii apei transportate în reţea.

Pentru conductele de alimentare cu apă, luând în considerare proprietăţile apei în privinţa formării depunerilor în conducte, Kamerstein propune împărţirea apelor naturale în cinci grupe, cărora le corespund tot atâtea viteze medii de creştere a rugozităţii, fiecare din ele determinând caracterul şi intensitatea procesului de reducere a capacităţii de transport a conductelor.

Reducerea debitului transportat cu durata lor de serviciu se poate exprima prin relaţia:

$$Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)}\left(1 - 0{,}01\ n_0 t^{m_0}\right) \qquad (3.188)$$

în care: $Q_{ij}^{(0)}$ este capacitatea de transport calculată a conductei; t – durata de exploatare, în ani; n_0, m_0 – parametri dependendenţi de proprietăţile fizico-chimice ale apei tranzitate, având valorile medii cele mai probabile date în tabelul 3.11.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.11

Valorile parametrilor ω, n_o, m_o în funcţie de proprietăţile fizico-chimice ale apei

Nr. grupă	Proprietăţile apei	ω [mm/an]	n_o	m_o
0	1	2	3	4
I	Ape slab mineralizate, necorosive. Ape cu conţinut neînsemnat de substanţe organice şi fier dizolvat.	0,025	2,3	0,50
II	Ape slab mineralizate, corosive. Ape conţinând substanţe organice şi fier dizolvat sub 3 mg/dm^3.	0,070	2,3	0,50
III	Ape corosive, cu conţinut mic de cloruri şi sulfaţi. Ape cu conţinut de fier de peste 32 mg/dm^3.	0,200	6,4	0,50
IV	Ape corosive, cu conţinut mare de cloruri şi sulfaţi (peste 500...700 mg/dm^3). Ape netratate cu conţinut mare de substanţe organice.	0,510	11,6	0,40
V	Ape puternic mineralizate (reziduu fix mineral peste 2000 mg/dm^3) şi corosive, cu duritate carbonatică mare şi cu duritate permanentă redusă.	0,800	18,0	0,35

Variaţia rugozităţii absolute, în funcţie de numărul anilor de exploatare, se poate exprima cu relaţia obţinută pe baza determinărilor lui Kamerstein:

$$\Delta=\Delta_0+\omega t \qquad (3.189)$$

în care Δ_o este valoarea iniţială a rugozităţii absolute; ω – viteza de creştere a rugozităţii conductelor, având valorile redate în tabelul 3.11.

Întrucât creşterea rugozităţii în timp depinde de foarte mulţi factori, realizarea în laborator a unei rugozităţi reale este deosebit de dificilă şi nu s-a putut face până în prezent o fundamentare ştiinţifică asupra acesteia, fiind nevoie, pentru aprecierea cât mai exactă a rugozităţii absolute a conductelor, de determinări directe în reţelele în funcţiune.

În lipsa unor date certe, rezultate din încercări în condiţii reale, se pot efectua calculele cu valorile date de relaţia (3.189), pe baza căreia s-a determinat, cu ajutorul programului PARELF, variaţia coeficientului de rugozitate λ_* şi a exponentului de debit β în funcţie de ω, pentru conducte din beton armat precomprimat, fontă, oţel, azbociment şi PVC, cu durate de exploatare de 10, 25 şi 50 ani, la temperatura medie a apei de 15 °C, fiind reprezentată grafic în diagramele prezentate în figurile 3.26 şi 3.27.

Scanned with OKEN Scanner

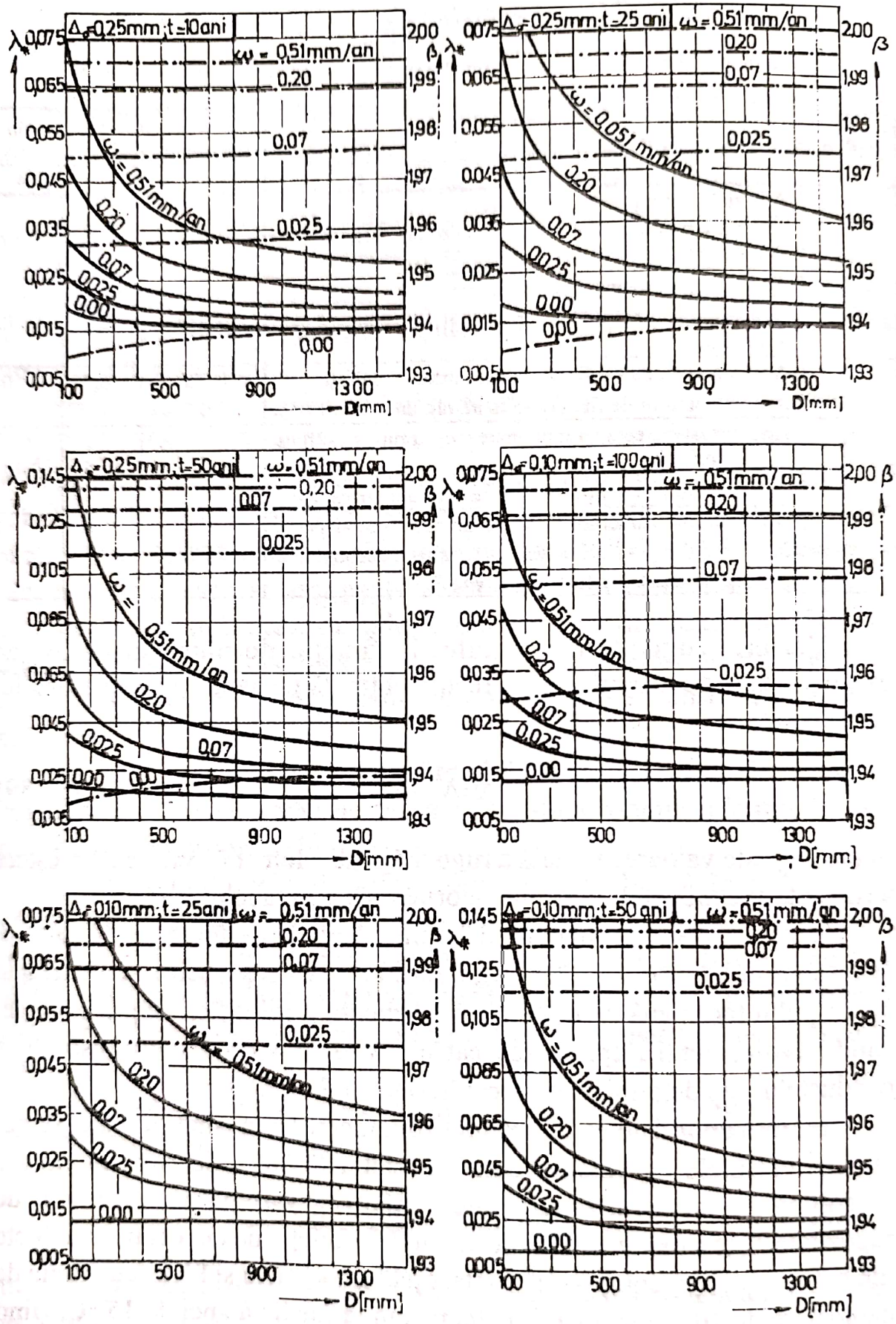


Fig. 3.26 – Diagrame de variație a parametrilor λ_* și β pentru conducte din beton armat, fontă și oțel.

Scanned with OKEN Scanner

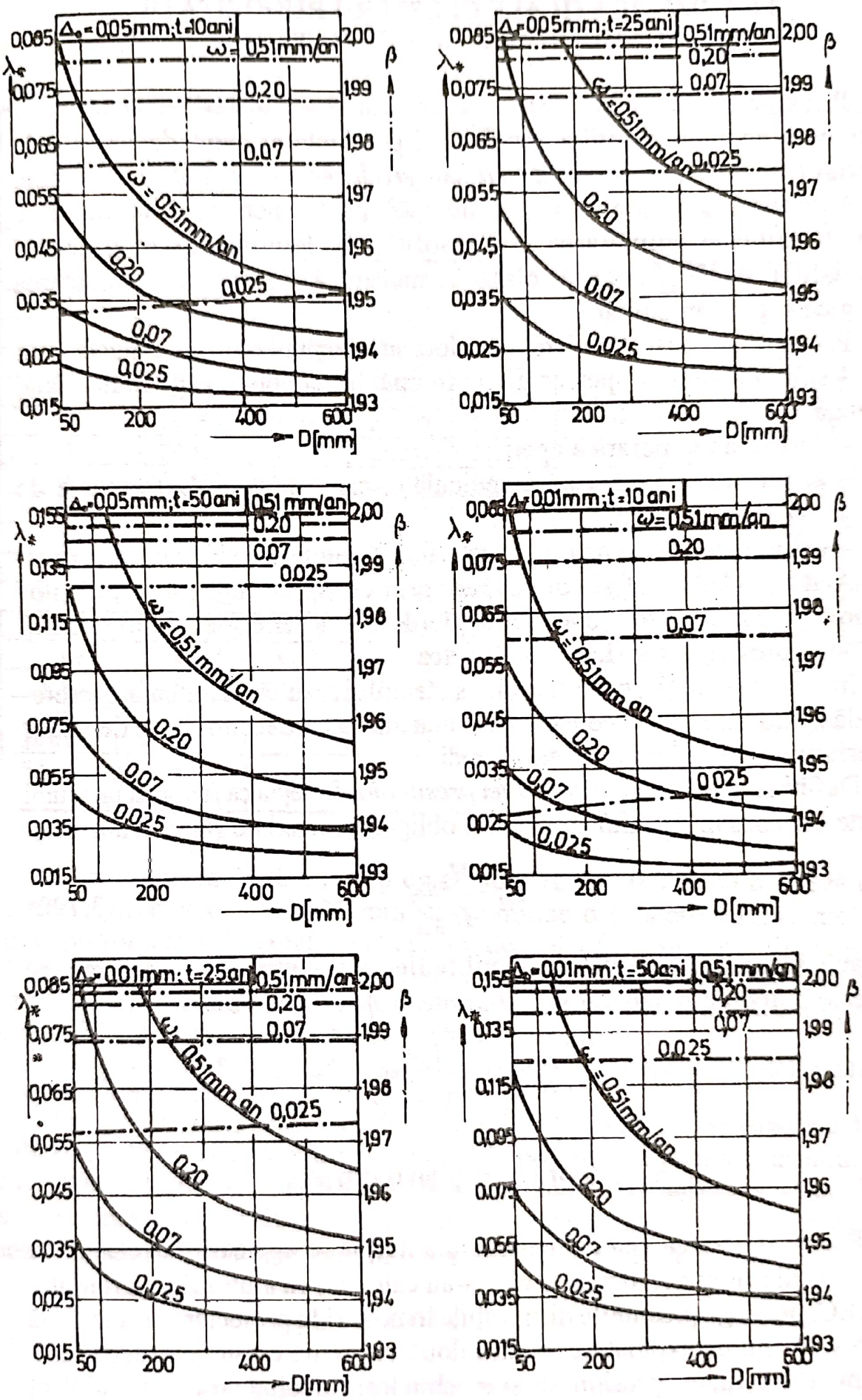


Fig. 3.27 – Diagrame de variaţie a parametrilor λ_* şi β pentru conducte din azbociment şi PVC.

Scanned with OKEN Scanner

3.6.3. IMPLICAŢII ALE CREŞTERII RUGOZITĂŢII CONDUCTELOR ÎN EXPLOATARE

Principalele fenomene care apar în timpul exploatării, ce conduc la creşterea rugozităţii pereţilor interiori ai conductelor, sunt *depunerile* de material (*colmatarea*) şi *corodarea* sau *erodarea* materialului conductei.

Vitezele foarte mici sau nule ale apei, pentru perioade mai lungi de timp, facilitează colmatarea şi consolidarea depunerilor în prezenţa carbonaţilor. Pe lângă această colmatare mecanică se remarcă şi colmatarea biologică şi prin precipitare.

Principalele cauze care determină formarea depunerilor în conducte sunt:

– substanţele în suspensie aflate în apă, la reţelele de apă industrială, netratată;

– duritatea temporară a apei;

– acţiunea corosivă a apei vehiculate, care conduce la formarea de depozite de oxid de fier;

– acţiunea biologică datorată bacteriilor feruginoase şi unor protozoare.

Atât corodarea cât şi colmatarea, prin creşterea rugozităţii pereţilor interiori ai conductelor, măresc şi pierderile de energie, defavorizând distribuţia presiunilor şi debitelor în reţea.

În această situaţie, pe ansamblul sistemului rezultă o alimentare preferenţială a unor puncte de consum în dauna altora care resimt lipsa debitelor şi presiunilor necesare în utilizarea apei.

Definind *stabilitatea distribuţiei presiunilor* în reţea ca raportul presiunii minime (la consum maxim în punctul obligat) şi maxime (la consum nul):

$$\sigma_H = \frac{H_{\min}}{H_{\max}} \tag{3.190}$$

şi ţinând seama de relaţiile de similitudine ale pompelor centrifuge, se defineşte în mod asemănător şi *stabilitatea repartiţiei debitelor*:

$$\sigma_Q = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = \sqrt{\frac{H_{\min}}{H_{\max}}}. \tag{3.191}$$

3.6.4. APLICAŢIE NUMERICĂ

Pentru ilustrarea celor menţionate anterior se apelează la reţeaua de distribuţie din figura 3.10 pentru care s-au calculat, cu ajutorul programului ACIREC, pe lângă presiunile disponibile în noduri la proiectare şi cele după 10, 25 şi 50 ani de exploatare, pentru două viteze de creştere a rugozităţii, precum şi stabilitatea presiunilor şi a debitelor. Rezultatele calculului sunt prezentate în tabelul 3.12.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.12

Presiunile disponibile în noduri – H_j [m]

Nod j	ω [mm/an]						
	0,00	0,025			0,200		
	Proiect	t [ani]			$\cdot t$ [ani]		
		10	25	50	10	25	50
0	1	2	3	4	5	6	7
1	24,000	22,859	22,371	20,453	18,202	13,364	7,284
2	26,955	26,502	26,295	25,485	24,548	22,587	20,213
3	26,850	26,528	26,374	25,776	25,087	23,651	21,920
4	29,066	28,855	28,770	28,443	28,069	27,293	26,364
5	26,624	26,021	25,754	24,719	23,525	21,024	17,986
6	28,566	28,283	28,122	27,498	26,784	25,312	23,568
7	28,533	28,224	28,231	27,831	27,375	26,443	25,355
8	28,553	28,415	28,338	28,043	27,709	27,034	26,248
9	28,371	28,213	28,151	27,912	27,643	27,099	26,467
10	25,446	24,731	24,353	22,870	21,133	17,416	12,773
11	27,157	26,645	26,438	25,631	24,695	22,724	20,315
12	28,813	28,644	28,576	28,312	28,008	27,379	26,824
13	29,435	29,435	29,435	29,435	29,435	29,435	29,435
s_H	0,815	0,777	0,760	0,695	0,618	0,454	0,247
s_Q	0,903	0,881	0,872	0,834	0,786	0,674	0,497
w_{sd} [kWh/m^3]	0,0071	0,0082	0,0086	0,0103	0,0123	0,0165	0,0216
Spor energie pompare [%]		3,9	5,5	12,0	19,7	36,1	56,7

Se constată că după un timp de exploatare de 10 ani, cu o viteză de creştere a rugozităţii de 0,025 mm/an, se obţine o creştere relativ mică a pantei piezometrice în conductele reţelei, de la 4,1 % (tronsonul 8) până la 17,3 % (tronsonul 1), însă pentru un serviciu de 50 ani şi o viteză de creştere a rugozităţii de 0,2 mm/an pantele piezometrice cresc foarte mult, ajungând de la 175 % (tronsonul 8) până la 259 % (tronsonul 13).

Stabilitatea distribuţiei presiunilor scade cu 4,7…69,7 %, iar stabilitatea repartiţiei debitelor se înrăutăţeşte cu 2,4…45 %.

Pentru a menţine capacitatea de transport a conductelor, în cazul reţelei analizate, este nevoie de mărirea sarcinii de pompare şi deci a consumului de energie electrică de la 3,9 % (ω = 0,025 mm/an, t = 10 ani) până la 56,7 % (ω = 0,2 mm/an, t = =50 ani), iar în mod corespunzător creşte şi energia specifică pentru distribuţia apei în reţea de la 15,6 % până la 206 %.

3.6.5. CONCLUZII

Efectul creşterii rugozităţii conductelor în timp, asupra distribuţiei presiunilor, constă în majorarea cu atât mai pronunţată a pantelor piezometrice,

Scanned with OKEN Scanner

faţă de cele scontate la proiectare, cu cât durata de funcţionare a reţelei este mai mare, având următoarele implicaţii:

– reducerea importantă a debitului de apă asigurat punctelor de consum, conducând la dificultăţi în utilizarea apei şi de multe ori la necesitatea supraechipării staţiilor de pompare, precum şi la proiectarea greşită a extinderilor sau restructurărilor de reţele în care o parte din conducte au deja o durată de exploatare;

– creşterea presiunii în reţea pentru a realiza acelaşi debit transportat, având ca rezultat sporirea consumului de energie şi denaturarea calculului optimal;

– producerea unei pierderi de apă suplimentare în reţea, care poate fi cu atât mai mare cu cât creşte, spre sfârşitul perioadei de existenţă a materialului, numărul de avarii şi defecţiuni.

Dacă la conductele noi, rugozitatea absolută se poate considera că rămâne relativ aceeaşi pentru o durată de până la 10...12 ani, peste această perioadă de funcţionare este obligatoriu să se ţină seama de schimbarea stării de rugozitate a pereţilor interiori ai conductelor. Pentru aprecierea cât mai corectă a rugozităţii de calcul la unele extinderi sau reabilitări de reţele sunt necesare determinări directe în reţelele în funcţiune, iar la proiectarea reţelelor noi, cu conducte din materiale clasice, se pot lua în calcul valori ale rugozităţii majorate cu până la 20...30 % faţă de cele recomandate de normativele actuale.

Diagramele de variaţie a parametrilor λ_* şi β sunt utile în calculele de analiză a reţelelor existente şi de proiectare a extinderilor şi reamenajărilor de reţele.

Pentru a se putea menţine pierderea de sarcină şi implicit consumul de energie pentru pomparea apei în limitele avute în vedere la proiectare este necesar ca, pe lângă asigurarea unei tratări corespunzătoare a apei (limpezire, dedurizare, deferizare, dezacidare etc.) şi a unei exploatări normale a reţelei (evitarea scăderii presiunilor în reţea sub cele de serviciu), să se procedeze periodic la curăţirea şi spălarea conductelor, cu verificarea pierderii de presiune şi a debitelor tranzitate înainte şi după efectuarea acestor operaţii. În cazuri justificate se poate recurge la acoperirea interioară a tuburilor cu materiale de protecţie puţin rugoase, cum ar fi mortarul de ciment.

Folosirea dispozitivelor de tratare magnetică a apei contribuie la evitarea depunerilor de carbonat de calciu (piatră), pe conductele de apă rece şi în special caldă, şi la dezîncrustarea conductelor cu depuneri deja formate, reducându-se esenţial cheltuielile de întreţinere, precum şi energia necesară pentru vehicularea apei.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 4

OPTIMIZAREA FUNCȚIONAL - ENERGETICĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI

4.1. PROBLEME ENERGETICO-ECONOMICE ALE DISTRIBUȚIEI APEI

Procedeul uzual de asigurare a presiunii necesare la utilizatorii de apă ai marilor centre urbane industrializate, prin rețele alimentate exclusiv cu stații de pompare exterioare, reclamă un consum energetic ridicat de 70...80% din energia consumată în exploatarea întregului sistem centralizat de alimentare cu apă, care depinde de randamentul global al sistemului de distribuție alcătuit din stațiile de pompare de treapta a II-a și rețeaua de distribuție, între acestea existând o strânsă interdependență. În condițiile menționate, presiunile disponibile sunt foarte mari în punctele de consum periferice, în care de obicei sunt necesare presiuni mai reduse, în timp ce în zonele centrale ale rețelei apar presiuni insuficiente.

Distribuția apei calde cu un program redus, de 6...8 ore/zi, creează oscilații foarte mari ale necesarului orar de apă, astfel încât în lipsa funcției compensatoare de rețea stațiile de pompare exterioare necesită puteri instalate mari.

De asemenea, suprapunerea orelor de vârf, 7 – 9 dimineața și 17 – 21 seara, pentru necesarul de apă, căldură și energie electrică, conduce la creșteri foarte mari ale cheltuielilor de exploatare.

Ținând seama de aceste probleme, reconsiderarea principiilor de alcătuire și funcționare a sistemelor de distribuție a apei din punct de vedere al optimizării energetice devine imperios necesară, fiind realizabilă printr-o nouă concepție de structurare a acestora. În acest sens, se expun procedee și măsuri, atât pentru optimizarea funcțională a pompelor în sistemele de distribuție, cât și pentru optimizarea structurală a sistemelor de distribuție, precum și soluții de optimizare a condițiilor energetice de distribuție a apei calde în sistemele centralizate.

4.2. FIABILITATEA SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE

4.2.1. PROBLEME DE FIABILITATE GENERALĂ A SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU APĂ

Capacitatea sistemului de alimentare cu apă, de asigurare a necesarului de apă (cantitate, calitate, presiune) în tot timpul anului, poate fi numită *siguranța* sau *fiabilitatea* acestuia.

Scanned with OKEN Scanner

Prin forma sa, sistemul de alimentare cu apă se prezintă ca un sistem în lanţ, siguranţa durabilităţii sale fiind în funcţie de siguranţa fiecărui element component. Este important de reţinut faptul că fiabilitatea generală (exprimată ca posibilitate de realizare a parametrilor ceruţi, pe un interval de timp normat) a sistemului F este dată de fiabilitatea fiecări element f_i, după regula generală:

$$F=\prod_{1}^{n} f_1 f_2 \cdots f_n. \qquad (4.1)$$

Deci, sistemul va fi cu atât mai puţin sigur cu cât lanţul este mai lung ($f_i < 1$) şi fiabilitatea fiecărei verigi este mai mică.

Fiabilitatea se poate exprima prin indicatori de fiabilitate, ca de exemplu:

– probabilitatea de funcţionare fără defecţiuni;
– durata medie între defecţiuni;
– disponibilitatea medie până la scoaterea din funcţiune;
– durata de serviciu până la executarea de reparaţii capitale;
– costul lucrărilor de menţinere în funcţiune (mentenanţă) etc.

În viaţa unei instalaţii însă, intensitatea de defectare are, după cum se cunoaşte din tehnica de specialitate, trei perioade distincte (fig. 4.1): perioada primilor ani, când sistemul intră în funcţiune; perioada de exploatare curentă, când menţinerea în funcţiune se face cu eforturi reduse; perioada finală de îmbătrânire rapidă, când cheltuielile de întreţinere pot deveni mai mari decât cheltuielile pentru o instalaţie nouă.

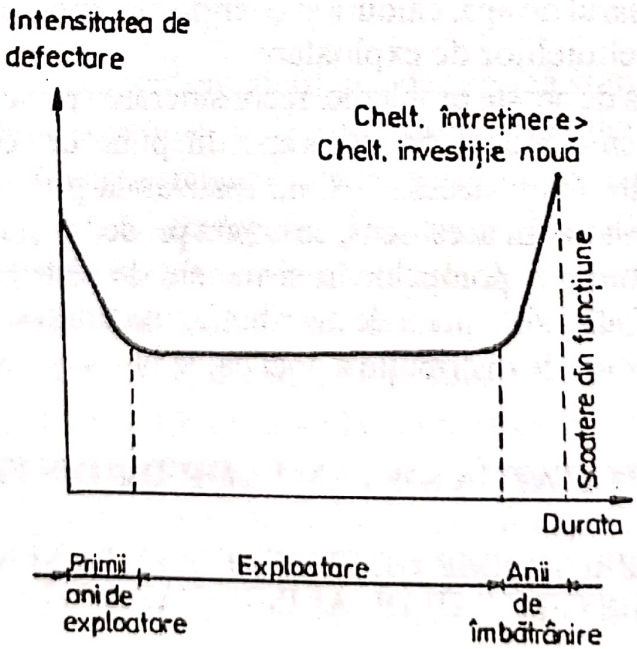


Fig. 4.1 – Variaţia numărului de defecţiuni pe durata de existenţă a unui sistem de alimentare cu apă.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru sistemul de alimentare cu apă, problema siguranţei în exploatare poate avea două aspecte principale: asigurarea permanentă a cantităţii de apă, dar cu valori reduse faţă de debitul de calcul, sau asigurarea debitului de calcul, dar cu întreruperi. În ceea ce priveşte acest ultim aspect, întreruperea poate fi totală t_t (fig. 4.2) sau parţială (sistemul funcţionează la capacitate redusă) t_p. Această funcţionare produce dificultăţi beneficiarului (prin gradul de disconfort sau pagube materiale imediate), dar şi greutăţi în exploatarea sistemului, întrucât, din cauza tendinţei de stocare a apei în perioada de nefuncţionare, sistemul trebuie dimensionat la un debit mai mare cu ΔQ.

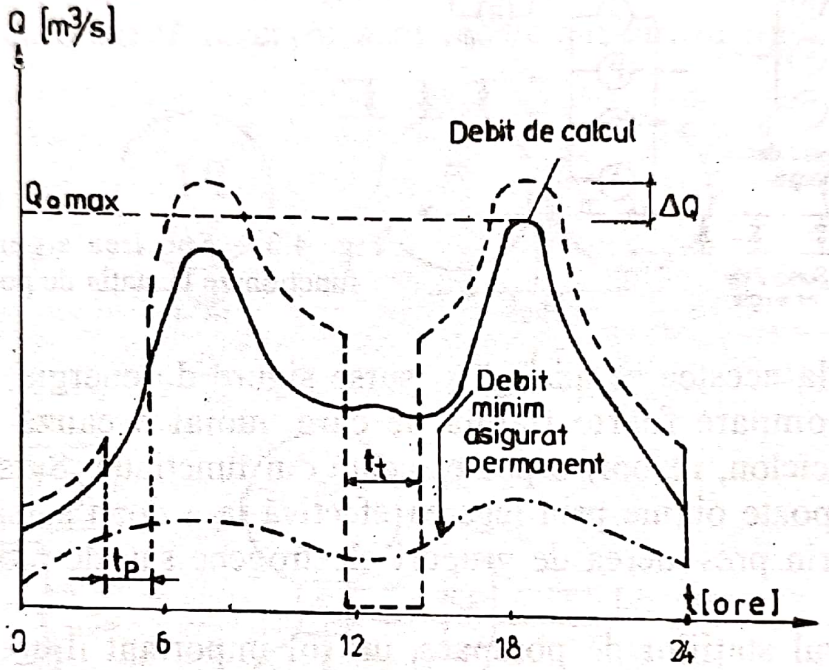


Fig. 4.2 – Asigurarea debitului orar în sistem.

4.2.2. CREŞTEREA SIGURANŢEI FUNCŢIONĂRII SISTEMELOR DE DISTRIBUŢIE

- *Staţia de pompare.* Creşterea siguranţei în exploatare se poate face prin: creşterea fiabilităţii utilajului propriu-zis; numărul de agregate; amenajarea unei instalaţii hidraulice adecvate; asigurarea unei surse sigure de energie.

Schema de creştere a fiabilităţii prin numărul de agregate (pompe utilizabile) este dată în figura 4.3: *a* – existenţa unei singure pompe în acţiune (*P*) şi o pompă de rezervă (*R*), caz foarte rar întâlnit, când alimentarea cu apă poate fi discontinuă; *b* – pompare continuă (pompă de rezervă în stare de funcţionare); *c, d* – mai multe pompe în acţiune sau mai multe pompe de rezervă al căror număr depinde de variaţia debitului, fiabilitatea utilajului şi dificultatea de a repara sau a procura un utilaj nou.

Scanned with OKEN Scanner

Sporirea fiabilităţii se poate obţine din instalaţia hidraulică şi sistemul de legare a bazinului de aspiraţie şi refulare. Astfel, legarea cu o singură conductă de aspiraţie şi respectiv refulare este mai puţin sigură decât legarea prin două sau trei conducte la bazinul de aspiraţie (fig. 4.3. *e*, ..., *i*) sau legarea cu două conducte simple ori legate prin bretele la bazinul de refulare (fig. 4.3. *h, i*).

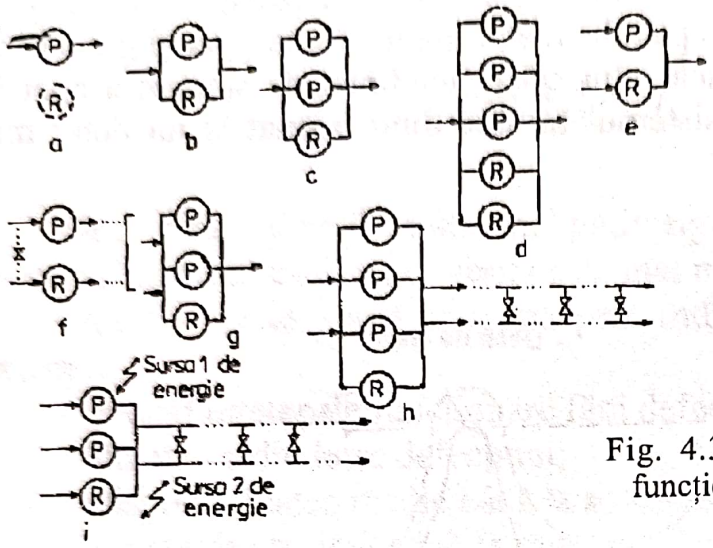


Fig. 4.3 – Sporirea siguranţei în funcţionare la staţia de pompare.

Dacă la acestea se adaugă şi surse sigure de energie, se obţine o staţie de pompare foarte fiabilă pe care numai o cauză neobişnuită (cutremur, ciclon, război) o poate scoate din funcţiune. Sursa a doua de energie se poate obţine prin legarea efectivă la a doua sursă de energie electrică, prin prevederea de grupuri electrogene sau de motopompe de rezervă.

În cazul staţiilor de pompare, un rol important îl are fiabilitatea utilajului şi armăturilor din instalaţia hidraulică.

În literatura de specialitate nu există date prelucrate pentru staţiile de pompare din sistemele de alimentare cu apă, însă există unele date extrase din observaţiile făcute pentru industrie:

– un robinet cu sertar pană se defectează în medie la 200 000 ore de funcţionare;

– suflantele se defectează în medie la 500 000 ore de funcţionare;

– pompele se defectează în medie la 120 000 ore de funcţionare;

– compensatoarele cu burduf se defectează în medie la 30 500 ore de funcţionare.

Faţă de această medie, abaterile pot fi de 10...50 ori mai mari sau mai mici.

• *Rezervoarele*. Rezervorul reprezintă prin prezenţa şi amplasarea sa favorabilă un element important de siguranţă pentru funcţionarea sistemului de alimentare cu apă:

– prin prezenţă, asigură posibilitatea dimensionării raţionale a sistemului (la $Q_{\text{zi max}}$ pentru toate obiectele până la rezervor, la $Q_{\text{orar max}}$ pentru toate obiectele după rezervor) şi prin aceasta o funcţionare relativ

constantă a celei mai mari părţi a sistemului (o dimensionare a întregului sistem la debite variabile orare între $Q_{\text{orar min}}$ şi $Q_{\text{orar max}}$, valori care pot fi de ordinul a 1...25 ori din valoarea debitului mediu, ar fi imposibilă, pe lângă faptul că este iraţională);

– amplasarea lângă localitate, deci la o distanţă cât mai mică, permite stocarea unui volum de apă ca rezervă pentru cazuri speciale (incendiu, avarie etc.);

– amplasarea la cotă permite şi utilizarea stocului de apă în cazul unei eventuale întreruperi a funcţionării staţiilor de pompare.

Etapele de creştere a siguranţei sistemului de distribuţie în condiţiile în care există rezervor sunt redate succint în figura 4.4.

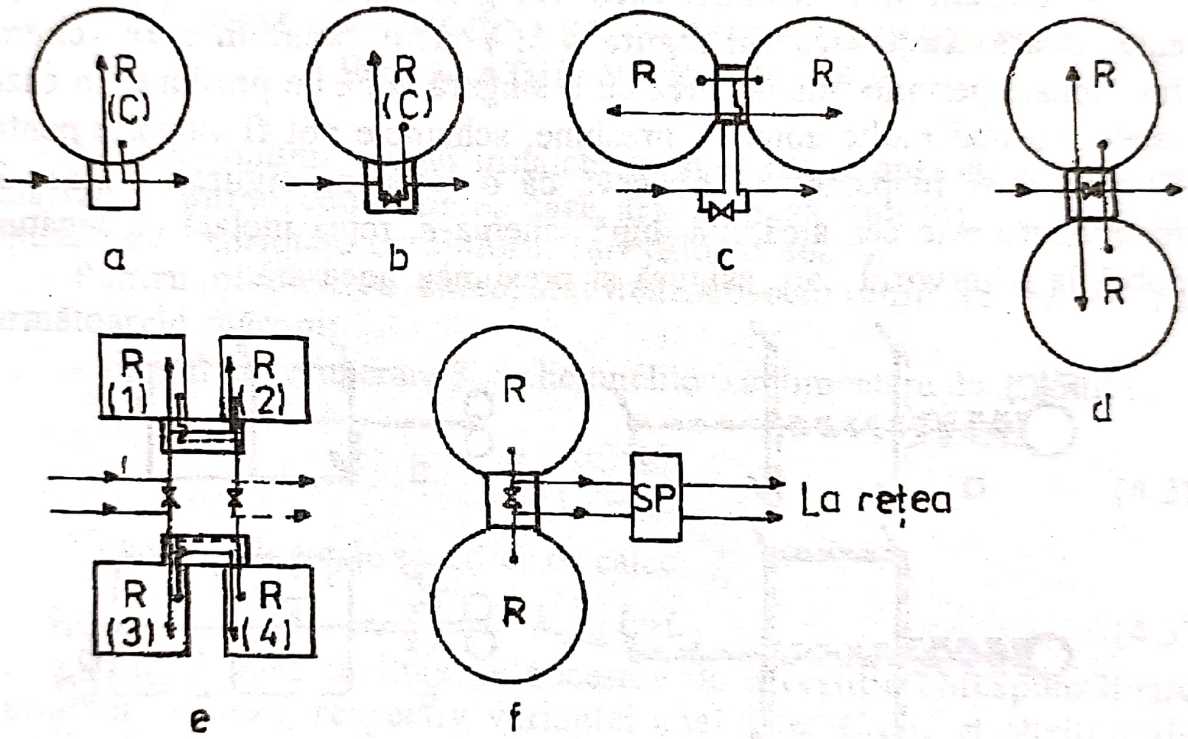


Fig. 4.4 – Rezervoare cu diferite grade de siguranţă în funcţionare.

În cazul unui rezervor cu o singură cuvă sau a unui castel de apă (cazul localităţilor mici) se realizează cea mai mică siguranţă. La scoaterea din funcţiune a rezervorului, forţat (în caz de avarie) sau voit (pentru spălare, revizie etc.), alimentarea cu apă este întreruptă (fig. 4.4.*a*). Acest lucru se poate remedia parţial prin prevederea unei conducte de ocolire, de regulă, închisă (fig. 4.4.*b*). Deschiderea acestei conducte permite alimentarea reţelei la un debit maxim $Q_{\text{zi max}}$, deci cu restricţii la beneficiar şi cu complicaţii în cazul combaterii incendiului. În caz de scoatere voită din funcţiune, aceasta se poate face în perioadele în care necesarul zilnic de apă este mai mic, deci când diferenţa de debit $Q_{\text{orar max}(i)} - Q_{\text{zi}(i)}$ este mai mică.

Creşterea siguranţei se face prin prevederea a două cuve de rezervor, cu sau fără conductă de ocolire (fig. 4.4. *c, d*). Conducta de ocolire este amplasată în casa vanelor, doar în schemă a fost amplasată în exterior pentru o marcare mai bună a prezenţei acesteia.

Pentru o siguranţă maximă pot fi prevăzute mai multe cuve de rezervor (fig. 4.4. *e*), cu conductă de ocolire pentru cuve şi cu legături duble, atât pe aducţiune, cât şi pe legătura la reţea.

În cazul pompării totale a apei din rezervor (fig. 4.4. *f*), siguranţa sistemului este dată de legarea staţiei de pompare la rezervor, precum şi de legarea staţiei de pompare la reţea. În mod normal rezervorul şi reţeaua de distribuţie funcţionează simultan, deci trebuie să fie gândite împreună.

• *Reţeaua de distribuţie*. Creşterea gradului de siguranţă, în etape, este redată simplificat în figura 4.5, pentru cazul în care schema funcţională permite funcţionarea cu o singură zonă de presiune. În cazul reţelei cu mai multe zone de presiune, schemele pot fi valabile pentru fiecare zonă în parte. Se observă că o reţea cu siguranţă mare în funcţionare este cea alcătuită după schema *c*, reţea inelară cu legătură dublă la rezervorul care asigură şi presiunea necesară.

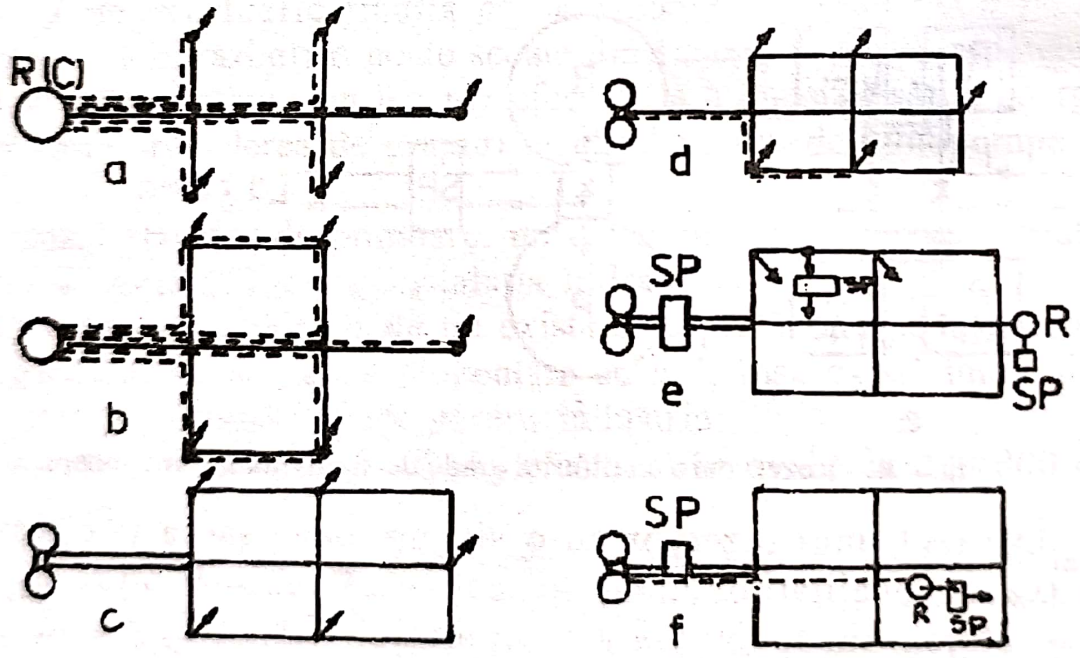


Fig. 4.5 – Schema de evaluare a siguranţei în funcţionare a reţelelor de distribuţie: *a* – reţea ramificată; *b* – reţea mixtă cu legare simplă la rezervor; *c* – reţea inelară cu legare dublă la rezervor; *d* – reţea inelară cu două noduri de alimentare; *e* – reţea cu repompare interioară; *f* – reţea alimentată prin pompare, cu două conducte de legătură şi elemente potenţiale interioare.

În ceea ce priveşte modul de alcătuire a reţelei inelare, ea se comportă ca o reţea inelară numai dacă diametrele conductelor inelului sunt sensibil apropiate.

Scanned with OKEN Scanner

4.3. OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A INSTALAŢIILOR DE POMPARE

Studiul optimizării funcţionării pompelor în sistemele de distribuţie ridică o serie de probleme legate de dimensionarea optimală a reţelei şi alegerea pompelor, dintre care la staţiile de pompare existente interesează în primul rând reducerea consumului energetic, factor ce determină economicitatea procesului de pompare.

În continuare se descriu şi se analizează din punct de vedere energetic unele soluţii pentru optimizarea funcţională a pompelor în sistemele mari de distribuţie a apei, ce conduc la mărirea randamentului energetic şi la corelarea debitului pompat cu consumul real de apă.

4.3.1. ANALIZA TEHNICO-ECONOMICĂ COMPARATIVĂ A INSTALAŢIILOR DE POMPARE

Varianta optimă a unei instalaţii de pompare a apei este rezultatul analizei tehnico-economice, care are la bază anumite criterii de optimizare exprimate cu ajutorul funcţiilor obiectiv.

Pentru efectuarea calculului tehnico-economic se determină următoarele mărimi:

– timpul de recuperare T_r a cheltuielilor suplimentare de investiţie:

$$T_r=\frac{I_i-I_b}{C_b-C_i}; \tag{4.2}$$

– cheltuielile totale specifice de calcul, f_i:

$$f_i=k_{norm}I_i+C_i \tag{4.3}$$

în care: I_b, I_i sunt cheltuielile necesare de investiţie corespunzătoare variantei de bază, respectiv variantei analizate; C_b, C_i – cheltuielile anuale de exploatare corespunzătoare variantei de bază, respectiv variantei analizate.

Condiţia necesară pentru asigurarea eficienţei economice se poate exprima prin intermediul următoarei relaţii:

$$T_r \le T_n \tag{4.4}$$

în care $T_n = 1/k_{norm} = 1/0,12 \cong 8$ ani, adică timpul normat de recuperare este aproximativ egal cu 8 ani şi în nici un caz nu poate depăşi 10 ani.

Dacă, în particular, una din variante prezintă cheltuieli mici atât de investiţie cât şi de exploatare, atunci această variantă este implicit varianta eficientă. În general, însă, varianta care prezintă cheltuieli mari de investiţie este legată de cheltuieli mici de exploatare. Ca urmare, la compararea a două sau a mai multor variante, trebuie să se folosească condiţia de minimizare a funcţiei obiectiv de cost total specific de investiţie şi de exploatare. Această condiţie prezintă forme diferite în funcţie de numărul variantelor analizate. Astfel:

Scanned with OKEN Scanner

- *în cazul a două variante:*

$$C_b - C_i > k_{norm}(I_i - I_b); \tag{4.5}$$

- *în cazul mai multor variante:*

$$k_{norm} I_i + C_i \rightarrow \min . \tag{4.6}$$

Cheltuielile totale de investiţie I, se determină cu relaţia:

$$I = \sum_{j=1}^{4} I_j = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \tag{4.7}$$

în care: I_1 este costul echipamentelor aferente instalaţiei respective; I_2 – costul lucrărilor pentru construcţiile aferente instalaţiei respective ($I_2 \approx 0{,}01 I_1$); I_3 – cheltuielile de transport, necesare pentru aducerea echipamentului la locul de montaj ($I_3 \approx 0{,}03 I_1$); I_4 – costul lucrărilor de montaj ($I_4 \approx 0{,}11 I_1$).

La compararea variantelor, pentru simplificarea calculelor, este mai comod să se determine diferenţa dintre cheltuielile de investiţie ale variantelor, respectiv ($I_i - I_b$), în loc de cheltuielile totale de investiţie aferente fiecărei variante în parte. În acest fel, nu se mai iau în consideraţie cheltuielile de investiţie comune fiecărei variante, care au valori egale.

Cheltuielile totale de exploatare C se determină cu relaţia:

$$C = \sum_{j=1}^{4} C_j = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \tag{4.8}$$

în care: C_1 este costul energiei electrice consumate anual; C_2 – cheltuielile de amortizare a echipamentelor; C_3 – cheltuielile de deservire curentă; C_4 – costul reparării echipamentelor.

Pentru simplificarea calculelor, la compararea variantelor este de asemenea mai indicat să se calculeze diferenţa dintre cheltuielile de exploatare ale variantelor respective ($C_b - C_i$), în loc de cheltuielile totale de exploatare aferente fiecărei variante în parte.

4.3.2. DISTRIBUŢIA OPTIMĂ A DEBITELOR ÎNTRE POMPE FUNCŢIONÂND ÎN CUPLAJ PARALEL

Dacă debitele a două pompe cuplate în paralel variază cu o valoare $|\Delta Q|$ astfel încât debitul total să rămână neschimbat, atunci distribuţia optimă a debitelor, pentru realizarea consumului minim de energie electrică, rezultă din condiţia de minimizare a funcţiei:

$$F_Q = \left(P_1 \pm \frac{\partial P_1}{\partial Q} \Delta Q \right) + \left(P_2 \mp \frac{\partial P_2}{\partial Q} \right) \rightarrow \min \tag{4.9}$$

Scanned with OKEN Scanner

cu restricţiile:

$$(Q_1+|\Delta Q|)+(Q_2+|\Delta Q|)=Q_0; \quad H_0 \geq H_1;\ H_2 \geq H_0 \tag{4.10}$$

în care: P_1, P_2 sunt puterile celor două pompe 1 şi 2, cuplate în paralel; Q_1, Q_2 – debitele de apă ale pompei 1, respectiv 2; H_0 – înălţimea de pompare necesară pentru a asigura la consumatori debitul Q_0; $\partial P_1/\partial Q$ şi $\partial P_2/\partial Q$ – creşterile relative ale puterii la variaţiile debitelor primei şi respectiv celei de-a doua pompe în punctele apropiate ale regimului optim.

Diferenţiind funcţia F_Q în raport cu variabila ΔQ şi egalând cu zero, se obţine:

$$\frac{\partial P_1}{\partial(\Delta Q)} \pm \frac{\partial P_1}{\partial Q} + \frac{\partial P_2}{\partial(\Delta Q)} \mp \frac{\partial P_2}{\partial Q} = 0 \tag{4.11}$$

şi întrucât derivatele $\partial P_1/\partial(\Delta Q)$ şi $\partial P_2/\partial(\Delta Q)$ sunt egale cu zero, condiţia distribuţiei optime a debitului Q între pompele date se exprimă, în final, prin egalitatea creşterii puterii agregatelor de pompare:

$$\frac{\partial P_1}{\partial Q} = \frac{\partial P_2}{\partial Q}. \tag{4.12}$$

În cazul general, a n pompe funcţionând în cuplaj paralel, condiţia de distribuţie optimă a debitului pompelor va fi:

$$\frac{\partial P_1}{\partial Q} = \frac{\partial P_2}{\partial Q} = \ldots = \frac{\partial P_n}{\partial Q}. \tag{4.13}$$

Rezultă, deci, că din condiţia de distribuţie optimă a debitelor între mai multe pompe, pentru realizarea consumului minim de energie electrică, creşterile relative de putere trebuie să fie egale.

Condiţia suficientă pentru realizarea pompării cu un consum minim de energie electrică este ca derivata a doua a funcţiei F_Q să fie pozitivă, adică:

$$F''_Q = \frac{\partial^2 P}{\partial Q^2} > 0 \tag{4.14}$$

condiţie care este îndeplinită pentru toate tipurile de pompe centrifuge (cu rotorul radial) ale căror curbe caracteristice au concavitatea spre semiordonatele negative.

4.3.3. ANALIZA ENERGETICĂ A FUNCŢIONĂRII POMPELOR ÎN REŢEA

Analiza energetică a funcţionării pompelor în reţea are ca parametri determinanţi *energia specifică de pompare* w_p, care reprezintă energia consumată pentru pomparea unităţii de volum şi se exprimă

Scanned with OKEN Scanner

în kWh/m³ cu relația (4.15), și *energia specifică a sistemului* w_s, care reprezintă consumul de energie specifică pentru o înălțime geodezică dată și se exprimă în kWh/(m³·m), conform relației (4.16):

$$w_p = 0{,}00272\frac{H_p}{\eta}, \tag{4.15}$$

$$w_s = \frac{w_p}{H_g} = \frac{0{,}00272}{\eta\eta_r}, \tag{4.16}$$

unde:

$$\eta_r = \frac{H_g}{H_p} \tag{4.17}$$

în care: H_p este înălțimea de pompare corespunzătoare punctului de funcționare, în m; H_g – înălțimea geodezică de pompare, în m; η – randamentul general al stației de pompare; η_r – randamentul hidraulic al rețelei.

Puterea absorbită P, în kW, la o anumită turație se calculează cu relația:

$$P = \frac{\gamma Q H_p}{1000\eta} = 3600 w_p Q \tag{4.18}$$

în care: γ este greutatea specifică a apei, în N/m³; Q – debitul pompat, în m³/s; w_p – energia specifică de pompare, în kWh/m³.

În general, pentru pompele centrifuge produse în țară, raportul H_p/η nu corespunde valorii maxime a randamentului η_{max} (fig. 4.6), ci unei valori mai mici, pe curba descendentă, adică:

$$\eta w_{p\,min} \neq \frac{H_p}{\eta_{max}}. \tag{4.19}$$

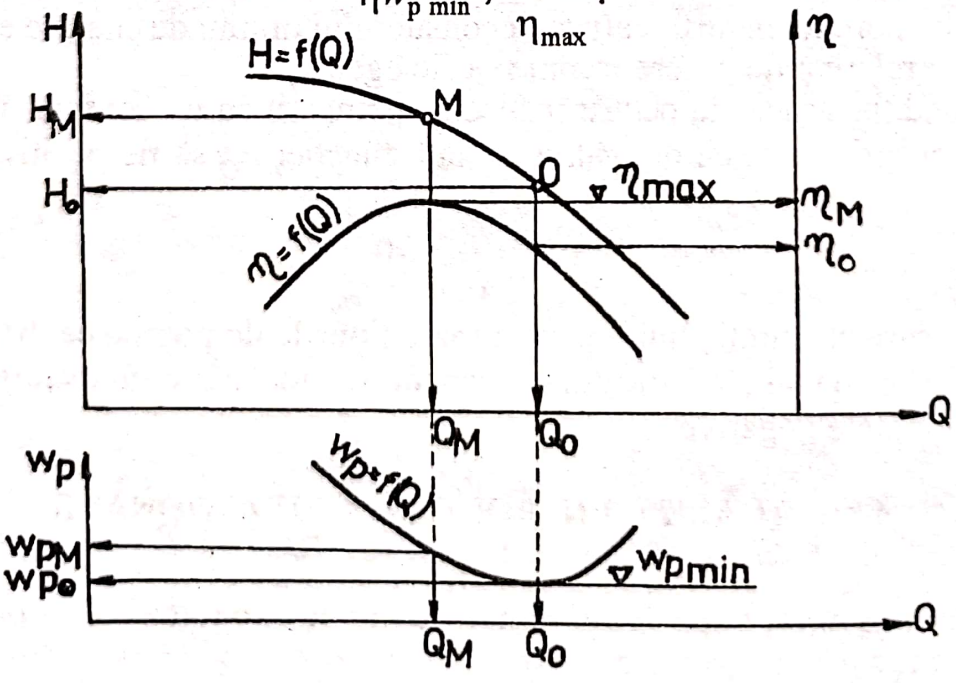


Fig. 4.6 – Curbele caracteristice pentru o pompă centrifugă.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se consideră o pompă supradimensionată, faţă de necesităţile reţelei, se ajunge la situaţia prezentată în figura 4.7.

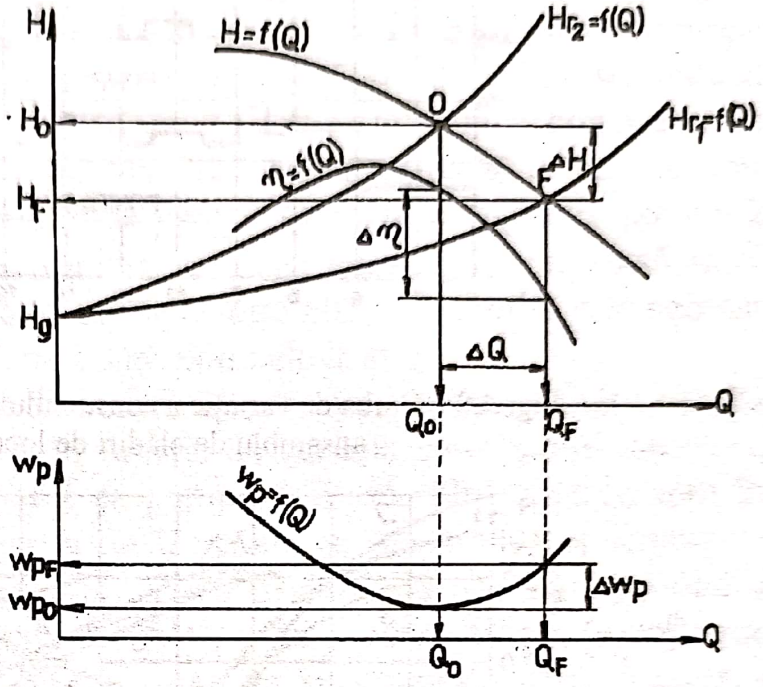


Fig. 4.7 – Reglarea debitului cu ajutorul vanei de refulare.

Caracteristica reţelei $H_{r1}=f(Q)$ stabileşte punctul de funcţionare nominală a pompei în F, corespunzător sarcinii H_F, debitului Q_F şi energiei specifice w_{pF}. La energia specifică minimă w_{p0} corespunde punctul de funcţionare O.

Din relaţia (4.16) se observă că energia specifică a sistemului w_s este invers proporţională cu randamentul total al sistemului:

$$\eta_t = \eta\eta_r \qquad (4.20)$$

şi direct proporţională cu energia specifică de pompare w_p.

O altă problemă care se pune este de a stabili *economicitatea adoptării unei soluţii de echipare a staţiilor de pompare* cu agregate având curbe caracteristice de sarcină identice sau diferite. În general, soluţia care se adoptă, pornind de la ideea interşanjabilităţii, este de echipare cu agregate cu caracteristici identice. Soluţia cu agregate cu caracteristici diferite poate prezenta avantaje în special când se adoptă soluţia de automatizare a pornirii pompelor în funcţie de debit.

Având, de exemplu, curba de variaţie a consumului de apă dată în figura 4.8 şi curbele caracteristice de sarcină, randament şi energie specifică de pompare pentru trei pompe diferite, cât şi curba caracteristică a reţelei de alimentare cu apă, prezentate în figura 4.9, se poate proceda la analiza tehnico–economică pentru stabilirea variantei optime de funcţionare.

Scanned with OKEN Scanner

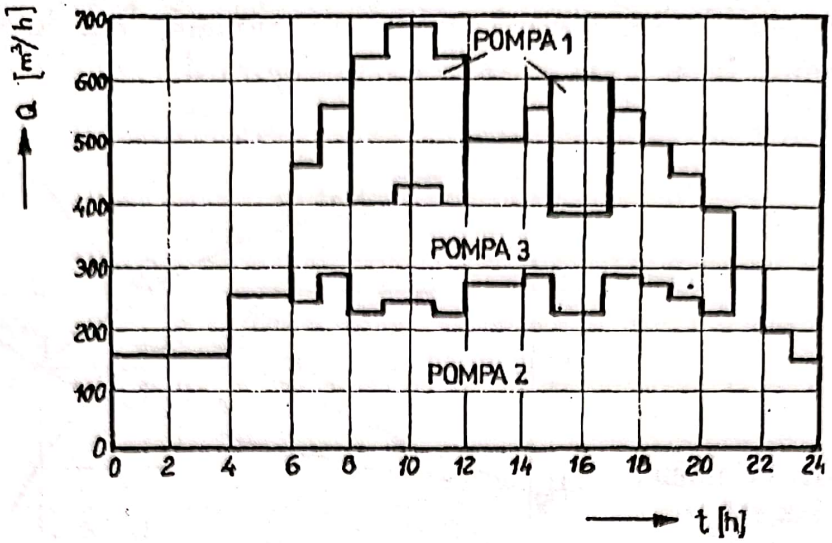


Fig. 4.8 – Curba de variație a consumului de apă pentru un ansamblu de clădiri de locuit.

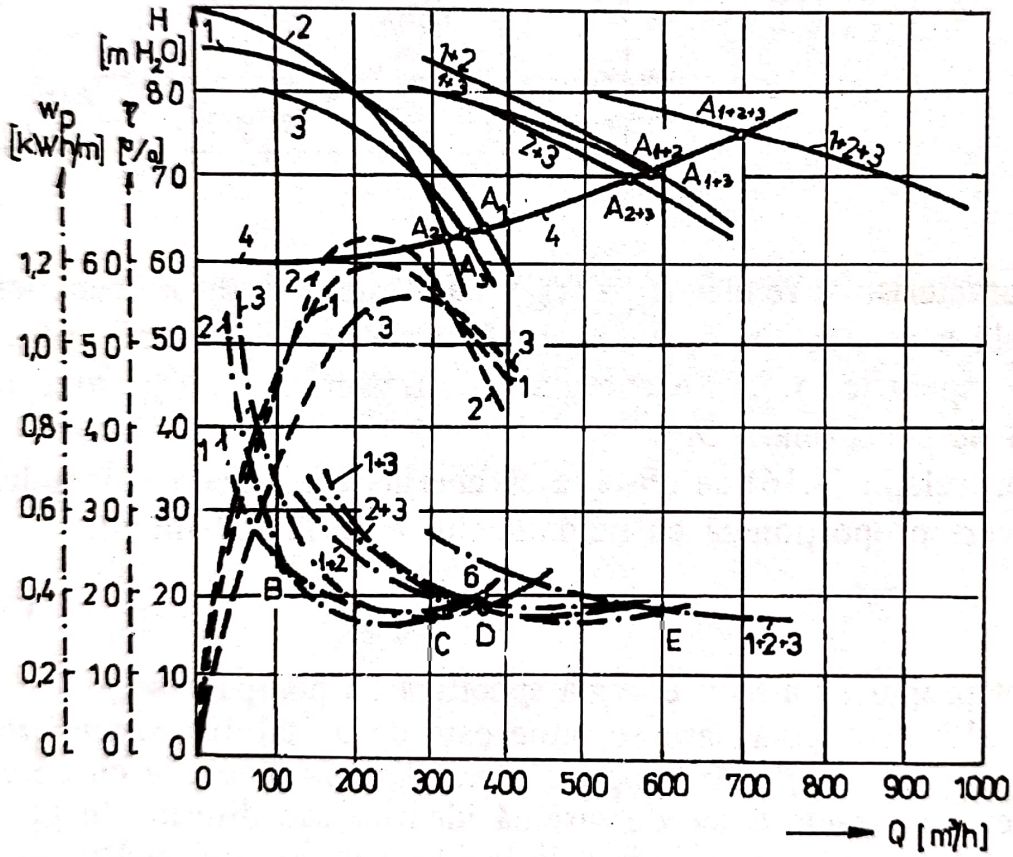


Fig. 4.9 – Curbele caracteristice $H - Q$, $h - Q$, $w_p - Q$ pentru trei pompe diferite funcționând: separat, câte două sau toate în paralel.

Din analiza celor două grafice din figurile 4.8 și 4.9 se constată că cel mai redus consum de energie electrică de pompare se realizează de către pompa 1 pentru debite până la 130 m³/h, de către pompa 2 pentru debite cuprinse între 130 și 325 m³/h și de către pompa 3 pentru debite cuprinse între 325 și 385 m³/h. La funcționarea în paralel a două pompe consumul minim de energie electrică se realizează pentru pompele 2+3 la debitele cuprinse între 385 și 600 m³/h, iar la funcționarea în paralel a trei pompe, pentru debite cuprinse între 600 și 700 m³/h.

Scanned with OKEN Scanner

Zonele de funcţionare cu un consum minim de energie electrică se stabilesc între punctele de intersecţie dintre curbele de consum minim de energie (*B, C, D, E* din figura 4.9).

Astfel, pentru graficul de variaţie a consumului indicat în figura 4.8, la consumuri până la 325 m^3/h este economic să se folosească pompa 2 (zona *B–C*). Pentru debite cuprinse între 325 şi 385 m^3/h este indicat să fie înlocuită pompa 2 cu pompa 3, dar numai dacă consumul se menţine o durată mai mare de timp la această valoare, în caz contrar este economic să funcţioneze două pompe în paralel, respectiv pompa 2 şi 3, care pot asigura funcţionarea în zona economică cuprinsă între 325 şi 600 m^3/h. Pentru debite cuprinse între 600 şi 700 m^3/h este necesar să funcţioneze şi pompa 1, pe lângă pompele 2 şi 3.

Cu toate că din punct de vedere al aprecierii economicităţii rezultă în ordine pompele 1, 2 şi 3, în funcţie de variaţia consumului, apare ca economică folosirea pompei 2 ca pompă de bază, funcţionarea apoi în paralel a pompelor 2 şi 3, iar în final, intrarea în funcţiune şi a pompei 1.

O problemă esenţială, înregistrată în evoluţia pe plan mondial a instalaţiilor de pompare a apei, este aceea a perfecţionărilor tehnice aduse agregatelor de pompare, ceea ce se constată prin creşterea performanţelor acestora (randament, stabilitate în funcţionare etc.). În aceste condiţii şi consumurile specifice de energie electrică de pompare a apei şi cheltuielile de întreţinere şi exploatare a staţiei se reduc.

4.3.4. SOLUŢII PENTRU REDUCEREA CONSUMULUI DE ENERGIE

• *Mărirea randamentului energetic al sistemului.* Ţinând seama de numărul redus de tipodimensiuni şi de dezvoltarea ulterioară a zonei deservite, pentru asigurarea parametrilor funcţionali ai instalaţiei de pompare, pompele se aleg mai mari, apărând de obicei ca supradimensionate faţă de condiţiile de exploatare de moment. Din acestă cauză, în unele situaţii, punctul de funcţionare al pompelor se mută spre zona debitelor mari, chiar în afara diagramelor date de furnizor.

În vederea creşterii randamentului sistemului şi, implicit, reducerii consumului energetic ar fi necesară deplasarea punctului de funcţionare spre *O* (fig. 4.7). În acest scop se poate utiliza *procedeul de reglaj prin vana de refulare.* Obturând parţial refularea caracteristica reţelei devine $H_{r2} = f(Q)$, iar corespunzător noului punct de funcţionare debitul scade la Q_o, sarcina pompei creşte la H_0, energia specifică de pompare scade la $w_{p0}=w_{pmin}$, iar randamentul pompei creşte de la h_F la h_0.

Scanned with OKEN Scanner

Creșterea sarcinii de pompare conduce la scăderea randamentului hidraulic al rețelei η_r, motiv pentru care se afirmă în literatură [6], [81], [226], [238] că reglajul prin vana de refulare este un procedeu nerecomandat din punct de vedere energetic, deoarece duce la scăderea randamentului global al sistemului η_τ.

Din examinarea alurii curbei energiei specifice w_p, se observă însă că dacă reglajul se efectuează pe caracteristica pompei, sub punctul O corespunzător energiei specifice minime de pompare, rezultă o micșorare a consumului energetic, respectiv o creștere a randamentului total η_τ (η crește mai mult deși η_r se reduce din cauza obturării vanei). Dacă reglarea punctului de funcționare se efectuează deasupra punctului O, prin creșterea înălțimii de pompare, crește și energia specifică de pompare, rezultând în final mărirea consumului energetic. Rezultă, deci, că, din punctul de vedere al eficienței reglajului prin vana de refulare, diagrama de funcționare a unei pompe centrifuge se poate împărți în două zone, delimitate de punctul de funcționare corespunzător energiei minime de pompare.

Pentru sarcini superioare acestui punct, reglajul este nerecomandabil, în timp ce reglajul efectuat de la sarcini mai mici spre acest punct conduce la reduceri ale consumului energetic.

Datorită variațiilor consumului de apă din rețeua de distribuție, sarcina de pompare H_p nu este constantă pe durata funcționării pompei, ci ocupă o plajă pe caracteristica acesteia.

Reglajul prin vana de refulare trebuie aplicat doar pentru perioadele în care pompa funcționează la sarcini $H_p < H_0$, crescând valoarea înălțimii de pompare până la egalitatea $H_p = H_0$ și scăzând în consecință debitul de la valoarea nominală Q_F la valoarea Q_0.

Ca orice sistem de reglare și acest procedeu necesită o buclă formată din trei elemente principale: elementul de măsură (traductorul), elementul de prelucrare a informației (regulatorul) și elementul de execuție pentru care este recomandabil a se folosi vana electromagnetică, ce acționează asupra modificării debitului de apă.

- *Corelarea debitului pompat cu consumul real de apă.* Funcționarea clasică a stațiilor de pompare de treapta a II-a se bazează pe graficul de variație orară a consumului de apă determinat statistic [84], [105], [238], iar reglarea parametrilor acestora se efectuează în trepte, prin cuplarea și decuplarea unui anumit număr de pompe cu montaj în paralel.

În numeroase sisteme centralizate de alimentare cu apă se constată adesea lipsa apei la consumatori, între anumite ore pe perioada unei zile de consum, fie datorită unei subdimensionări a sistemului, fie datorită depășirii normelor de consum de către unii utilizatori, fie datorită funcționării necorespunzătoare a stației de pompare, ca urmare

Scanned with OKEN Scanner

a neconcordanței între graficul de variație orară statistică a consumului de apă cu cel real, sau a unei combinații a acestor cauze.

Pe de altă parte trebuie să se țină seama că livrarea apei la consumatori în condiții optime impune la stația de pompare cunoașterea presiunilor în punctele semnificative (centrele de greutate ale zonelor de consum) ale rețelei de distribuție.

Deși reglarea debitului de apă prin vana de refulare a agregatelor de pompare conduce la mărirea randamentului energetic al sistemului de distribuție, atunci când sarcinile nominale ale pompelor sunt inferioare înălțimii de pompare optime, acest procedeu prezintă următoarele inconveniente:

– uzură accentuată la organele de obturare;
– zgomote, vibrații și lovituri de berbec cu efecte nedorite în sistem;
– funcționare în regimuri mai puțin fiabile pentru pompe.

Cel mai avantajos procedeu prin care se poate realiza variația debitului de apă este *modificarea turației motorului de antrenare a agregatului de pompare*, aceasta devenind elementul de execuție al buclei de reglare, eliminându-se vana de reglaj montată pe conducta de refulare.

Reglarea debitului (fig. 4.10) nu se mai face prin modificarea caracteristicii rețelei și deplasarea punctului de funcționare F_1 pe caracteristica fixă a pompei, ca la reglajul cu vana de refulare, ci se realizează datorită deplasării punctului de funcționare în F_2, prin modificarea caracteristicii pompei H (la turații diferite n_1, n_2) pe caracteristica fixă a rețelei H_r. Punctul de funcționare F_2 corespunde înălțimii de pompare H_{F_2} redusă cu căderea de presiune pe vana de reglare eliminată.

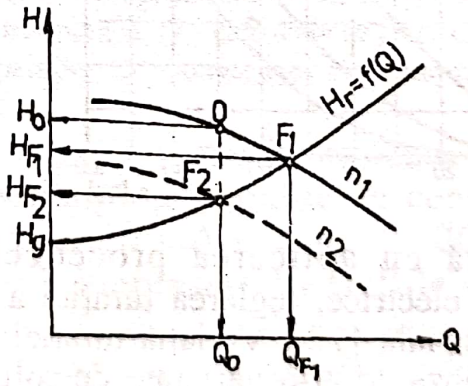


Fig. 4.10 – Reglarea debitului prin variația turației.

Caracteristica pompei la turații reduse se poate calcula și reprezenta grafic prin relațiile de similitudine:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2} \tag{4.21}$$

$$\frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2. \tag{4.22}$$

Variaţia debitului de apă, conform relaţiei (4.21), este direct proporţională cu variaţia turaţiei agregatului, care este comandată direct de regulatorul din bucla de reglare automată.

Dependenţa randamentului de variaţia turaţiei este dată de (4.23), cu care se poate deduce randamentul η_2, în punctul F_2 corespunzător turaţiei n_2, în funcţie de randamentul η_1 la turaţia n_1:

$$\eta_2 = 1-(1-\eta_1)\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{0,1} \qquad (4.23)$$

În fapt, la majoritatea pompelor şi în special la cele mari, modificarea randamentului se poate neglija la un domeniu de variaţie a turaţiei de 1/3 din turaţia nominală.

În figura 4.11 este reprezentată variaţia caracteristicilor H, Q, P, η ale pompelor centrifuge cu turaţia n, constatându-se că reducând cu 20 % turaţia puterea absorbită scade cu 50 %, iar randamentul pompei rămâne nemodificat, de unde reiese clar posibilitatea reducerii consumului de energie la pompare prin reglarea turaţiei agregatelor de pompare.

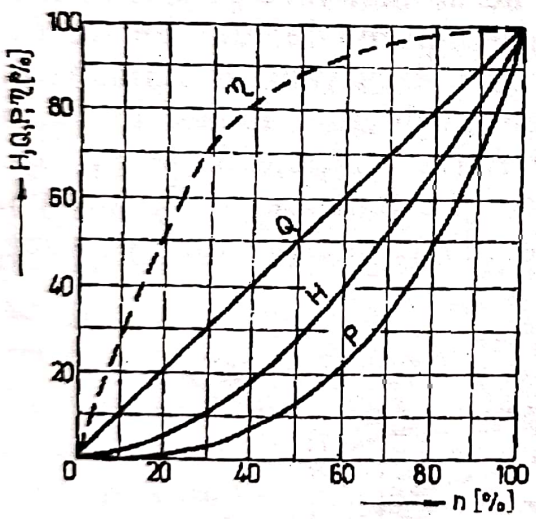


Fig. 4.11– Variaţia caracteristicilor pompelor centrifuge cu turaţia.

O dată cu aplicarea procedeelor electronice la acţionarea motoarelor electrice, reglarea turaţiei a fost deja extinsă în unele ţări la scară industrială [22]. Variaţia turaţiei motorului de antrenare a pompei se poate realiza printr-o varietate de soluţii [226]. Dintre acestea motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit asociat cu un convertizor static de frecvenţă cu tiristoare sau tranzistoare de putere (200 kW şi respectiv 25 kW) formează un echipament electric de acţionare cu turaţie reglabilă în limite largi. Semnalul de comandă dat de regulator se introduce în elementul de execuţie al buclei de reglare, reprezentat prin convertizorul de turaţie, care poate fi comandat de un calculator de proces sau de un element cu comandă manuală. Dacă este necesară funcţionarea mai multor pompe în paralel se poate efectua variaţia turaţiei unei singure pompe (celelalte funcţionând la turaţia nominală), convertizorul de turaţie comutându-se automat la oricare din pompe.

Scanned with OKEN Scanner

În scopul corelării debitului pompat cu consumul real de apă şi al asigurării presiunii necesare cu un consum minim de energie s-a conceput un *sistem de automatizare cu echipament electronic*, având elementele principale din figura 4.12.

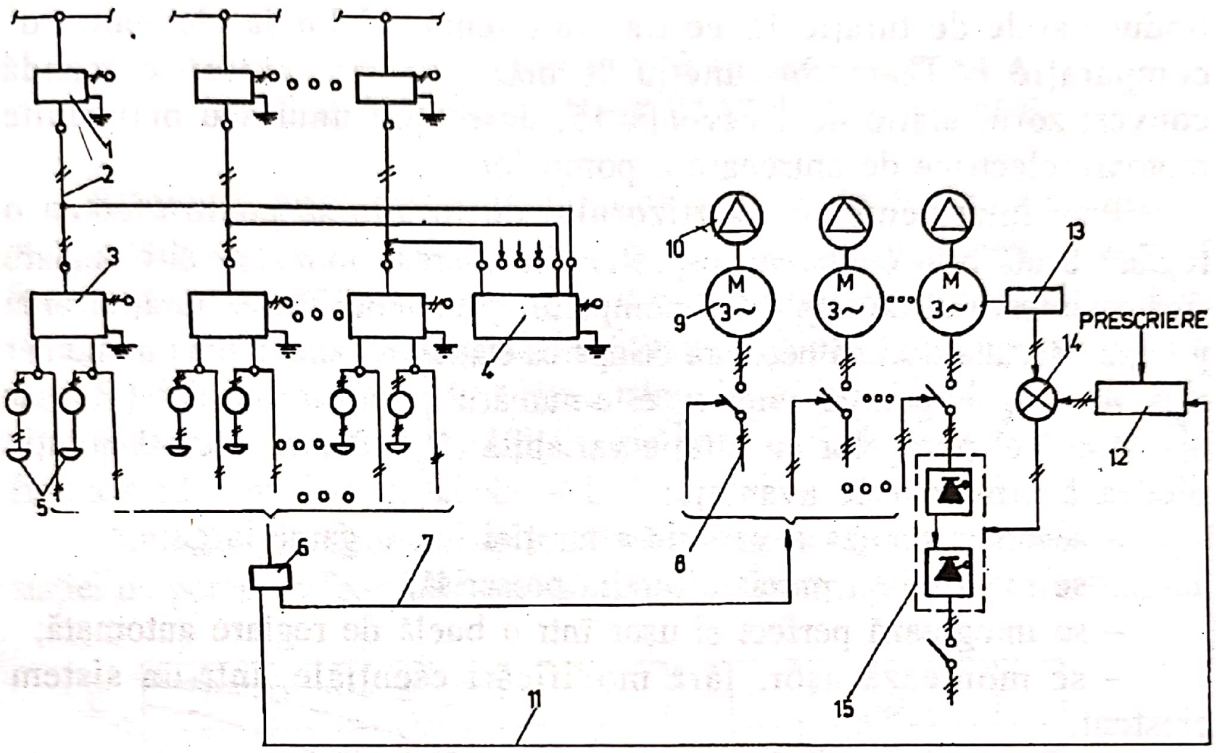


Fig. 4.12 – Schema bloc a sistemului de optimizare a funcționării pompelor în sistemele de distribuție a apei folosind reglarea turației: 1– traductor de presiune FE 1 GM; 2,7,11– linii de conexiune; 3– miliampermetru regulator 1 ARE 192; 4 – înregistrator electronic ELR 362 A; 5– pupitru de semnalizare; 6 – programator continuu şi discontinuu ELX 733; 8 – rețea electrică; 9 – motor electric; 10 – pompă; 12 – calculator de proces; 13 –traductor de turație DT 171; 14 – element de comparație; 15 –convertizor static de frecvență CSFV.

Traductoarele electronice de presiune 1 transmit presiunea din punctele semnificative ale reţelei de distribuţie prin liniile de conexiune 2, cu ajutorul semnalelor electronice 2...10 mA c.c sau 4...20 mA c.c, la miliampermetrele regulatoare 3 amplasate în staţiile de pompare uzinale. În acelaşi timp semnalele electronice se transmit şi unui înregistrator electronic 4, legat în serie cu miliampermetrele regulatoare, care permite înregistrarea în mod continuu pe o diagramă a presiunilor din maximum douăsprezece puncte de măsură. Pupitrele de semnalizare 5 conţin lămpi de semnalizare şi sonerii comandate de miliampermetrele regulatoare prin releele de minim şi maxim. În acelaşi timp miliampermetrele regulatoare comandă cu ajutorul unui programator continuu şi discontinuu 6, prin intermediul liniilor de conexiune 7, cuplarea sau decuplarea de la reţeaua 8 de alimentare cu energie electrică a motoarelor 9 de antrenare a pompelor 10 din staţia de pompare. Programatorul continuu şi discontinuu este în legătură, prin intermediul

liniilor de conexiune 11, cu un calculator electronic de proces 12, la care se efectuează o prescriere iniţială a valorilor minime şi maxime a presiunilor necesare în punctele semnificative ale sistemului, în vederea asigurării unei alimentări optime cu apă la un consum energetic minim.

La motoarele electrice funcţionând cu turaţie variabilă se cuplează traductoarele de turaţie 13 ce transmit semnalul lor la elementul de comparaţie 14, care, în funcţie de mărimea semnalului, comandă convertizorul static de frecvenţă 15, deservind unul sau mai multe motoare electrice de antrenare a pompelor.

Prin intermediul convertizorului de turaţie se poate efectua o reglare brută prin cuplarea, respectiv decuplarea, pompelor şi o reglare fină în intervalul de cuplare a pompelor, prin modificarea turaţiei unei pompe. Rezultă deci ca necesară echiparea staţiei de pompare cu un număr $n_p = n_c + n_v$ de pompe, unde n_c este numărul pompelor clasice (P_c), iar n_v - numărul pompelor cu turaţie variabilă (P_v). Pentru această soluţie pledează următoarele avantaje:

– se poate realiza o variaţie a turaţiei într-o gamă largă;
– se menţine cu precizie turaţia prescrisă;
– se integrează perfect şi uşor într-o buclă de reglare automată;
– se montează uşor, fără modificări esenţiale, într-un sistem existent.

Alegerea procedeului optim de reglare a debitului se face în funcţie de economia de energie şi durata de amortizare a investiţiilor suplimentare în sistemul de reglare adoptat.

Pentru a stabili economia de energie, realizabilă prin utilizarea unui anumit procedeu de reglare, se au în vedere condiţiile de exploatare:

– caracteristica reţelei de distribuţie;
– caracteristica consumului de apă (variaţia debitului necesar pe perioada unei zile).

Consumul specific de energie w_e, în %, într-o perioadă T_p de exploatare optimizată a pompelor se determină cu relaţia:

$$w_e = \frac{\int_0^{T_p} P\,dt}{\sum_{i=1}^{24} \frac{Q_i H_i}{\eta_i} T_p} 100 \qquad (4.24)$$

în care: Q_i, H_i, η_i sunt caracteristicile pompei sau grupului de pompe la funcţionarea clasică în ora i a unei zile; $\int_0^{T_p} P\,dt$ – energia consumată în perioda T_p, funcţionând la debite diferite de Q_i.

Pentru analiza pompării apei în sistemele de alimentare cu apă, care urmăreşte determinarea punctelor de funcţionare a pompelor exploatate în diferite regimuri, se poate folosi modelul de calculul numeric descris în [214], atât în cazul pompelor cu turaţie constantă, cât şi la cele cu turaţie variabilă.

4.3.5. ANALIZA ENERGETICĂ COMPARATIVĂ A FUNCŢIONĂRII UNEI STAŢII DE POMPARE

Eficienţa energetico–economică a procedeelor de optimizare menţionate se evidenţiază printr-un exemplu de analiză comparativă a funcţionării unei staţii de pompare, din cadrul sistemului de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timişoara, echipată cu 6 pompe de tip 12 NDS-1450, ce trebuie să asigure zilnic livrarea a 172 800 m^3 de apă.

Rezultatele numerice obţinute pe baza curbelor caracteristice din figura 4.13 sunt date în tabelul 4.1.

Din analiza efectuată se constată, că la funcţionarea optimizată a staţiei de pompare folosind sistemul de automatizare prin reglarea turaţiei,

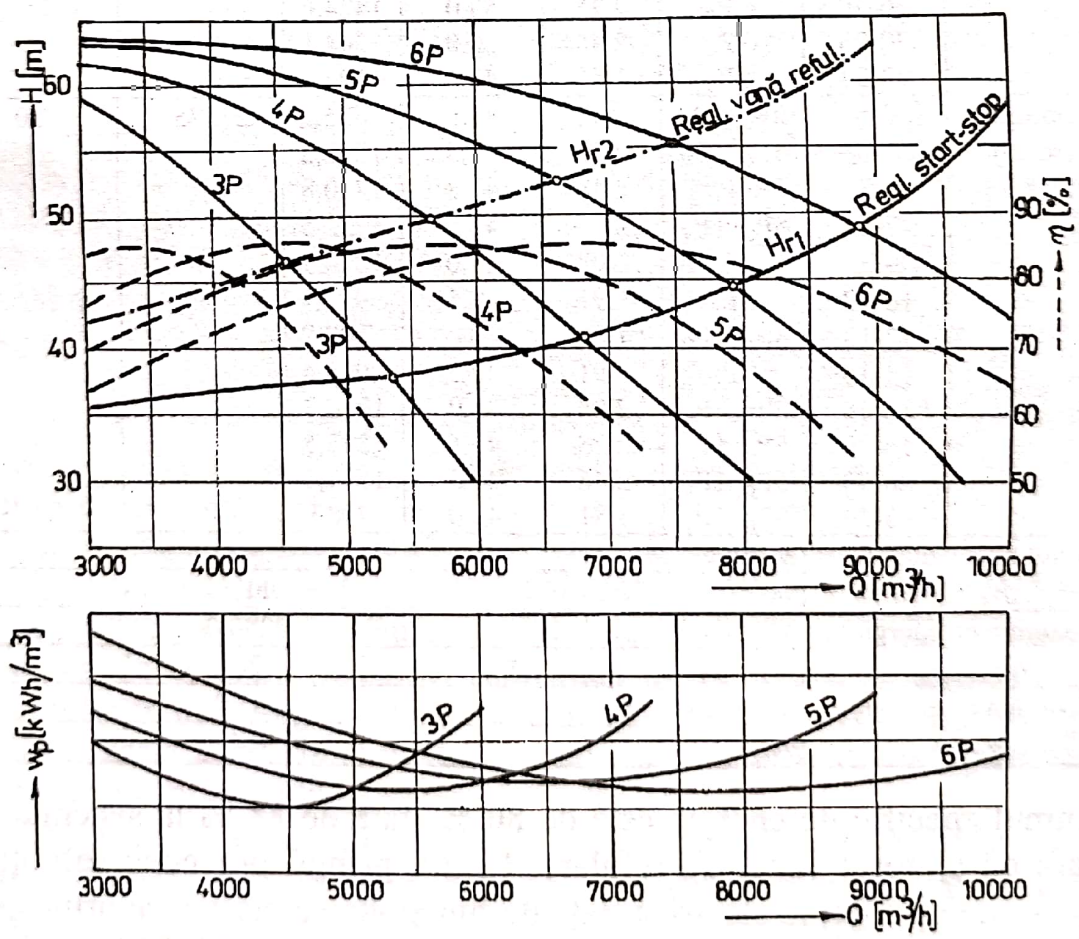


Fig. 4.13 – Curbele caracteristice $H-Q, h-Q, w_p-Q$ şi punctele de funcționare pentru diferite montaje de pompe tip 12 NDS-1450 în paralel.

Tabelul 4.1

Calculul consumului specific şi al economiei de energie la aplicarea procedeelor de reglaj optimizat

Nr. crt.	Mod de reglare	Interv. de ore	Nr. pompe în funcţ.	Debit Q [m^3/s]	Inălţ. pomp. H_p [m]	Puterea P [kW]	Energia cons. W_e [kWh/zi]	Consum energetic specific w_e [%]
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	clasic (start-stop)	0-4	3 P_c	1,47	38,6	696,3	31705,6	100
		4-10	6 P_c	2,48	49,8	1730,8		
		10-14	4 P_c	1,91	42,5	995,4		
		14-17	5 P_c	2,18	45,7	1303,1		
		17-22	6 P_c	2,48	49,8	1730,8		
		22-24	4 P_c	1,91	42,5	995,4		
2	optimiz (reglaj vană)	0-5	3 P_c	1,42	38,6	672,6	27970,5	88
		5-6	6 P_c	2,25	53,0	1424,0		
		6-7	6 P_c	2,48	49,8	1730,8		
		7-8	6 P_c	2,25	53,0	1424,0		
		8-10	5 P_c	2,08	47,5	1138,2		
		10-12	4 P_c	1,91	42,5	995,4		
		12-13	5 P_c	1,81	56,0	1181,6		
		13-15	4 P_c	1,91	42,5	995,4		
		15-16	6 P_c	2,08	47,5	1138,2		
		16-20	6 P_c	2,25	53,0	1424,0		
		20-23	6 P_c	2,46	50,0	1544,1		
		23-24	4 P_c	1,81	43,0	1122,6		
3	optimiz (reglaj turaţie)	0-5	2P_c+1P_v	1,42	37,6	655,2	25375,5	80
		5-6	5P_c+1P_v	2,25	45,5	1222,5		
		6-7	6 P_c	2,48	49,8	1730,8		
		7-8	5P_c+1P_v	2,25	45,5	1222,5		
		8-10	5 P_c	2,08	43,0	1030,3		
		10-12	4 P_c	1,91	42,5	995,4		
		12-13	3P_c+1P_v	1,81	40,0	708,9		
		13-15	4 P_c	1,91	42,5	995,4		
		15-16	5P_c+1P_v	2,08	43,0	1030,3		
		16-20	5P_c+1P_v	2,25	45,5	1222,5		
		20-23	5P_c+1P_v	2,46	49,6	1534,5		
		23-24	3P_c+1P_v	1,81	40,0	708,9		
Economia de energie $\Delta W_{e,2-1}$		[MWh/an]					1345,0	
		[%]					11,6	
Economia de energie $\Delta W_{e,3-1}$		[MWh/an]					2280,0	
		[%]					20	
Economia de energie $\Delta W_{e,3-2}$		[MWh/an]					935,0	
		[%]					8,4	

consumul specific de energie este de 80 %, faţă de 88 % la sistemul de reglare cu ajutorul vanei de refulare. Pentru primul procedeu se obţine o economie de energie electrică, faţă de funcţionarea clasică ce urmăreşte graficul variaţiei statistice a consumului de apă, de 2 280 MWh/an, iar în cazul celui de-al doilea procedeu se economisesc 1 345 MWh/an.

Scanned with OKEN Scanner

Rezultă că prin procedeul variaţiei turaţiei se obţine, faţă de procedeul reglării cu vana de refulare, o economie de energie suplimentară în proporţie de cca .10 %.

Considerând tariful mediu al energiei electrice de 60 lei/kWh şi evaluând costul investiţiei suplimentare pentru sistemul de reglare prin modificarea turaţiei, faţă de cel de reglare prin vană, la 70,2 milioane lei, rezultă un timp de amortizare a acestei investiţii de cca 1 an, arătând economicitatea energetico-economică a primului sistem faţă de cel de-al doilea.

Reglarea prin modificarea turaţiei constituie un procedeu avantajos de optimizare a funcţionării pompelor în sistemele de distribuţie a apei, asigurând corelarea debitului pompat cu consumul real de apă în condiţiile obţinerii unor economii însemnate de energie electrică, care pot atinge în anumite împrejurări chiar 30 %.

Este de aşteptat ca acest sistem de reglare să se generalizeze şi la noi în ţară în scopul economiei de energie.

4.4. SEPARAREA REŢELELOR DE DISTRIBUŢIE PE ZONE DE PRESIUNE A APEI

4.4.1. PROCEDEE DE ZONARE

Separarea reţelelor de distribuţie a apei pe zone de presiune este obligatorie datorită condiţiilor tehnice, atunci când presiunile disponibile în reţea depăşesc valoarea limită H_{max} = 60 m ca, dar se poate aplica şi pentru a asigura o optimizare energetico–economică a sistemului. Astfel se obţine reducerea presiunii în ansamblul reţelei de distribuţie în contul independenţei diferitelor reţele zonale ale întregului sistem.

Se analizează procedee şi soluţii pentru optimizarea structurală şi funcţională a sistemelor de distribuţie prin zonarea reţelelor, determinându-se eficienţa energetico-economică a acestora cu exemplificări numerice.

În principiu separarea reţelelor pe zone de presiune se poate realiza prin:

a) *zonarea orizontală,* ce presupune repompări succesive impuse de lungimea mare a traseului la reţelele de mare extindere situate în regiunea de şes (fig. 4.14.*a*). Înălţimea de pompare se subîmparte în mai multe trepte, asigurându-se presiunea de serviciu H_{nec}, iar la capătul fiecărei zone k se amenajează câte un rezervor tampon R_k şi câte o staţie de pompare SP_k;

b) *zonarea verticală*, prilejuită îndeosebi de clădirile înalte de pe o vatră de mică extindere (fig. 4.14.*b*). Aceasta presupune realizarea unei reţele pentru consumatorii de la nivelele P+4E, cu o înălţime de pompare H_{p1}, şi altă reţea pentru consumatorii etajelor E5...10, alimentată de la staţia de pompare SP_2 prevăzută cu recipiente hidropneumatice

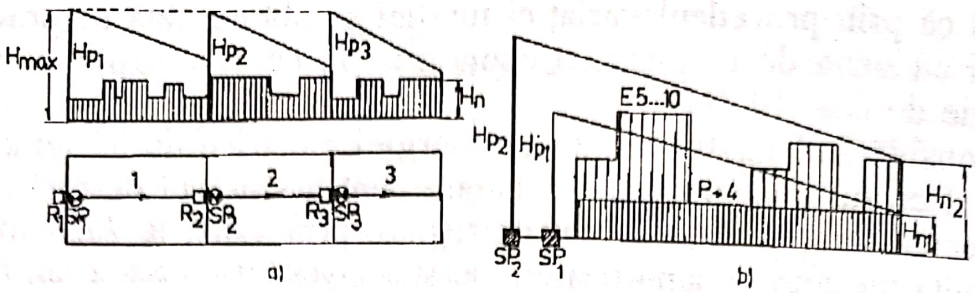


Fig. 4.14 – Schema de principiu a separării reţelelor pe zone de presiune: *a* – zonare orizontală; *b* – zonare verticală.

La reţelele alimentate prin pompare, atât zonarea orizontală, cât şi cea verticală se poate realiza *în serie* sau *în paralel,* în figurile 4.15 şi 4.16 prezentându-se aceste două procedee tehnice pentru zonarea verticală.

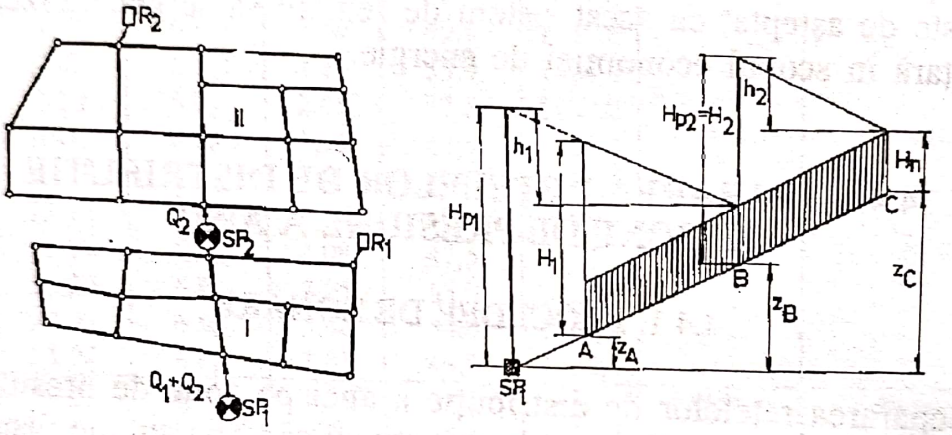


Fig. 4.15 – Schema de principiu a procedeului de zonare în serie.

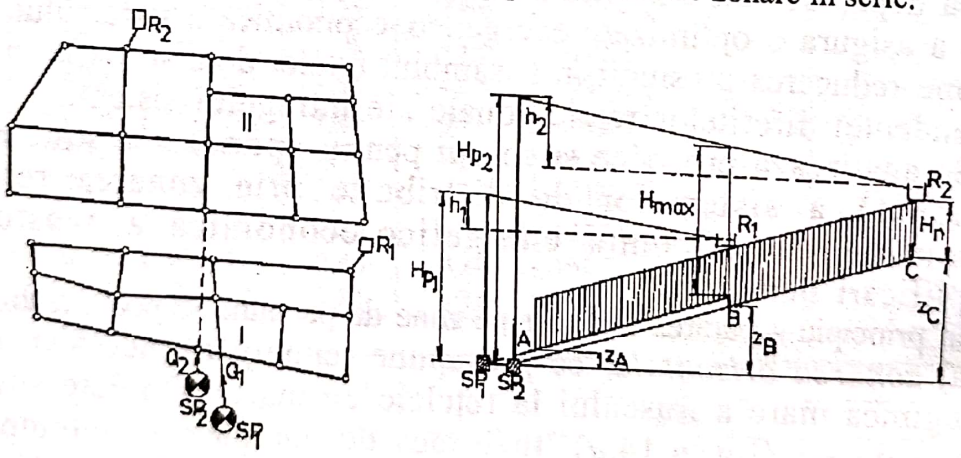


Fig. 4.16 – Schema de principiu a procedeului de zonare în paralel.

4.4.2. PARTICULARITĂŢILE ZONĂRII ÎN SERIE

La zonarea în serie (fig. 4.15), staţiile de pompare se amplasează la limita zonelor astfel încât să nu se depăşească presiunea maximă admisă în reţea. Staţia de pompare inferioară SP_1 vehiculează debitul de apă (Q_1+Q_2),

necesar pentru întreg centrul populat, la o sarcină de pompare H_{p1} corespunzătoare zonei I, iar dintr-un rezervor intermediar agregatele staţiei de pompare SP_2 aspiră debitul Q_2, necesar zonei II, din propriul rezervor R_2.

Presiunea maximă, în zona inferioară I (A–B), este dată de relaţia (4.25), iar în zona superioară II (B–C) se determină cu relaţia (4.26):

$$H_1 = H_{nec} + (z_B - z_A) + h_1 \le H_{max} \qquad (4.25)$$

$$H_2 = H_{nec} + (z_C - z_B) + h_2 \le H_{max} \qquad (4.26)$$

în care: H_{nec} este presiunea necesară; z_A, z_B, z_C – cotele geodezice în punctele A, B, C; h_1, h_2 – pierderile de sarcină în zonele I şi II.

Dacă fiecare zonă are prevăzut rezervor propriu de compensare, volumul acestuia rezultă din repartiţia proporţională cu valoarea consumului maxim zilnic al zonei respective. Rezerva de avarie se păstrează numai în rezervorul principal al zonei inferioare, iar rezerva de incendiu se recomandă a se repartiza în rezervoarele fiecărei zone de presiune.

4.4.3. PARTICULARITĂŢILE ZONĂRII ÎN PARALEL

La zonarea în paralel (fig. 4.16), fiecare staţie de pompare livrează debitul corespunzător zonei pe care o deserveşte, Q_1 şi Q_2, în câte o reţea prevăzută fiecare cu rezervor (R_1, R_2), având astfel o mai mare independenţă decât în cazul zonării în serie.

Conducta de refulare a staţiei de pompare SP_2 trece prin zona I fără să facă serviciu, distribuind apa numai în zona II şi putând avea presiunea nelimitată de condiţia de funcţionare (4.26).

Rezerva de avarie este comună, iar rezerva de compensare şi cea de combatere a incendiilor se recomandă să înzestreze fiecare zonă în parte. Este avantajos ca agregatele de pompare să fie amenajate în aceeaşi clădire a staţiei uzinale.

4.4.4. EFICIENŢA ENERGETICO-ECONOMICĂ A PROCEDEELOR DE ZONARE

Presupunând, teoretic, zone de înălţime egală şi de însemnătate funcţională echivalentă se justifică şi se evaluează reducerea consumului de energie electrică în sistemele de distribuţie la separarea reţelelor pe zone de presiune.

Scanned with OKEN Scanner

Consumul anual de energie pentru pomparea apei W_e, într-un sistem nezonat se exprimă prin relaţia:

$$W_e = kV_a H_p \tag{4.27}$$

în care: V_a este volumul de apă distribuit anual; H_p – înălţimea medie de pompare; k – factor de proporţionalitate.

Asimilând reprezentarea liniilor piezometrice reale cu diagrame cvasitriunghiulare (fig. 4.17), se exprimă consumul anual de energie electrică pentru pomparea apei în sistemul zonat cu ajutorul relaţiilor:

– pentru sisteme zonate în serie:

$$W_e = k\left(V_a \frac{H_p}{2} + \frac{V_a}{2}\frac{H_p}{2}\right) = \frac{3}{4}kV_a H_p \tag{4.28}$$

– pentru sisteme zonate în paralel:

$$W_e = k\left(\frac{V_a}{2}H_p + \frac{V_a}{2}\frac{H_p}{2}\right) = \frac{3}{4}kV_a H_p. \tag{4.29}$$

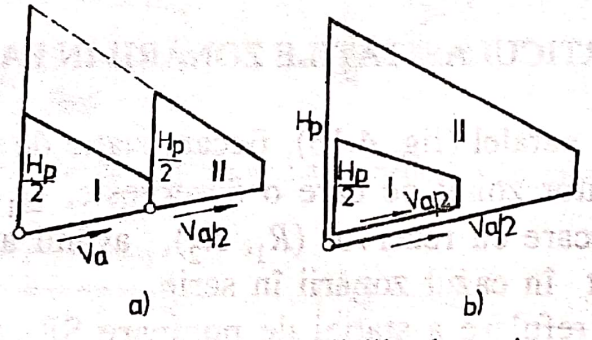


Fig. 4.17 – Aproximarea liniilor de presiune:
a – zonare serie; *b* – zonare paralel.

Rezultă că în cazul ambelor procedee consumul anual de energie reprezintă în sistemele zonate numai 75 % din consumul anual de energie al sistemelor nezonate.

Faţă de situaţia ideală a subîmpărţirii reţelei în două zone de presiune echivalente, zonarea este în mod real, de cele mai multe ori, încă mai avantajoasă sub aspectul consumului de energie electrică. Zona inferioară este întotdeauna mai dezvoltată, reprezentând 70...90 % din consumul de energie al sistemului, ceea ce înseamnă că, la înălţimi practic egale ale zonelor, se poate economisi chiar peste 35 % energie electrică.

Deşi ca investiţie reţelele zonate sunt mai costisitoare, prin faptul că necesită mai multe staţii de pompare şi rezervoare sau camere de rupere a presiunii, ele sunt mai economice în exploatare prin consumul redus de energie.

Scanned with OKEN Scanner

Trebuie studiate comparativ soluția cu rețea nezonată având înălțimea de pompare mare, ce necesită o investiție I_1 mică, însă cheltuieli anuale de exploatare C_1 mari, și soluția cu rețea zonată, având sarcini mai reduse la stațiile de pompare, investiția I_2 mai mare și cheltuieli anuale de exploatare C_2 scăzute.

Pentru a determina economicitatea soluției cu rețeaua zonată se aplică relația timpului de recuperare comparativ:

$$T_r = \frac{I_1 - I_2}{C_2 - C_1} \leq T_n \qquad (4.30)$$

în care T_n este durata normată de amortizare.

4.4.5. EXEMPLIFICĂRI NUMERICE ALE EVALUĂRII ENERGETICE ȘI ECONOMICE A PROCEDEELOR DE ZONARE

• *Evaluarea energetică a zonării rețelelor publice circulare.* La rețelele de mare capacitate și extindere nu pot fi asigurate presiunile necesare și mai ales presiunea mai mare a zonelor centrale fără a adopta unele soluții de optimizare prin zonarea rețelei.

Spre exemplificare, se realizează evaluarea energetică a zonării în serie a unei rețele cu schema ideală echivalentă circulară (fig. 4.18), atât în alternativa ramificată, cât și inelară, considerând debitul de alimentare Q_p = 2,4 m^3/s, iar presiunea necesară H_{nec} = 15 m în zonele periferice și H_{nec} = 30 m în zona centrală.

Traseul arterelor trece prin centrele de greutate ale ariilor consumatorilor considerați punctiformi în vârfurile grafului rețea.

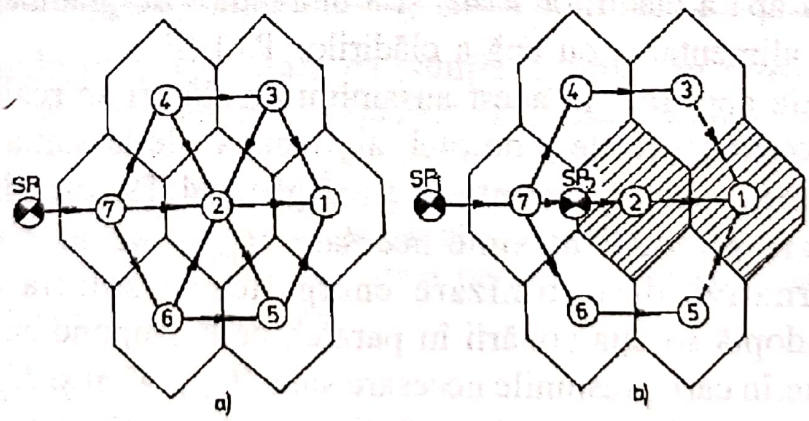


Fig. 4.18 – Schema unei rețele circulare ideale echivalente:
a – distribuție nezonată; *b* – distribuție zonată.

Zonarea în serie (fig. 4.18.*b*) presupune dotarea sistemului cu o stație de pompare principală SP_1, pentru zonele de presiune redusă, și o stație de repompare SP_2, pentru zona centrală, cu presiunea necesară ridicată. Se aplică

montarea în serie a agregatelor staţiei de repompare, însă sub protecţia unui rezervor pneumatic, pentru a nu se pierde presiunea disponibilă în reţeaua amonte.

Rezultatele numerice ale calculelor energetice comparative între distribuţia zonată şi nezonată sunt prezentate în tabelul 4.2. Rezultă că prin zonarea sistemului circular de distribuţie se obţine o economie de energie electrică de 18...20 %.

Tabelul 4.2

Caracteristicile energetice comparative ale sistemului circular de distribuţie

Nr. crt.	Sistem	Reţea	Staţia de pompare SP_1			Staţia de pompare SP_2			Energia cons W_e [Mwh/ /an]
			Q_1 [m^3/s]	H_p [m]	W_{e1} [Mwh/ /an]	Q_2 [m^3/s]	H_p [m]	W_{e2} [Mwh/ /an]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nezonat	ramif.	2,4	51,84	12172,9	-	-	-	12172,9
		inelară	2,4	50,80	11991,6	-	-	-	11991,6
2	Zonat	ramif.	2,4	39,12	9224,1	0,90	7,72	678,6	9902,7
		inelară	2,4	38,28	9051,1	0,89	7,52	646,2	9697,3
Econ. de energ. ΔW_e [%]		ramif.	18,6						
		inelară	19,1						

• *Evaluarea economico–energetică a zonării reţelelor de distribuţie din ansambluri de clădiri cu regim de construcţie diferit.* Se consideră cazul unui ansamblu de clădiri de locuit totalizând 3000 apartamente cu cca 11000 locuitori şi având două zone de presiune corespunzătoare la două regimuri de înălţime a clădirilor. În prima zonă de presiune trebuie asigurată alimentarea cu apă a clădirilor P+4E şi a hidranţilor de gradină, iar a doua zonă necesită alimentarea cu apă a clădirilor P+10E.

Distribuţia apei reci în acest ansamblu de clădiri se realizează cu o reţea unică executată din ţevi de oţel, alimentată de la staţia de ridicare a presiunii SP_1 şi reprezentată în figura 4.19 cu linie plină, corespunzătoare presiunii maxime necesare H_{nec} = 42 m.

Ca alternativă de optimizare energetică la soluţia cu reţeaua nezonată se adoptă soluţia zonării în paralel, ce presupune ca fiecare din cele două zone, în care presiunile necesare sunt H_{nec1}=42m şi H_{nec2}=21,5m, să fie alimentate de la câte o staţie de pompare cu recipiente hidropneumatice (SP_1, SP_2) prin câte o reţea de distribuţie separată, reprezentată în figura 4.19 cu linie întreruptă şi respectiv punctată.

Rezultatele calculelor energetico–economice obţinute în urma dimensionării reţelelor cu ajutorul programului DIOPREDA, pentru cele două soluţii analizate, sunt prezentate în tabelul 4.3.

Scanned with OKEN Scanner

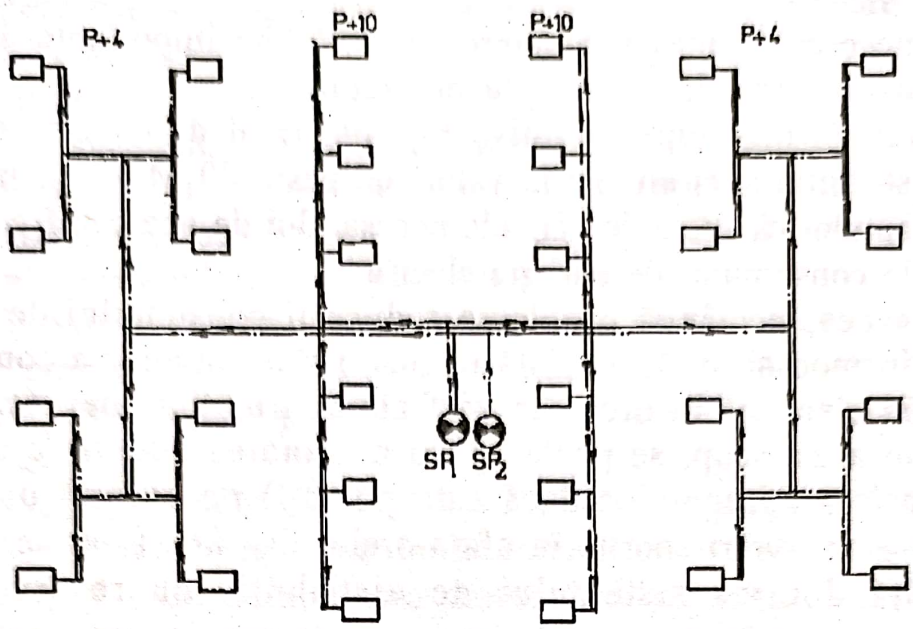


Fig. 4.19 – Schema reţelelor de distribuţie a apei în ansamblul de clădiri.

Tabelul 4.3

Caracteristicile energetico-economice comparative ale reţelelor de distribuţie

Nr. crt.	Sistem	Staţia de pompare SP_1			Staţia de pompare SP_2			W_e kWh/ /an]	I [mil. lei]	C [mil. lei/an]
		Q_1 [dm³/s]	H_p [m]	W_{e1} [kWh/ /an]	Q_2 [dm³/s]	H_p [m]	W_{e2} [kWh/ /an]			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Nezonat	43,98	42,66	70133	-	-	-	70133	97,8	7,90
2	Zonat	23,50	42,69	37500	20,48	22,28	17050	54550	102,7	6,88
Economia de energie, ΔW_e		[kWh/an]			15583					
		[%]			22,2					
Durata de recuperare, T_r		[ani]			5					

Calculele efectuate arată că soluţia optimă, cu reţea de distribuţie zonată, conduce la cheltuieli anuale de exploatare minime, precum şi la o economie de energie electrică pentru pompare de 15 583 kWh/an, reprezentând cca 22 % din consumul energetic al soluţiei cu reţeua nezonată, iar investiţia suplimentară în conducte, staţii de pompare şi recipiente hidropneumatice se amortizează într-o perioadă de 5 ani, mai redusă decât durata de recuperare normată.

4.5. UTILIZAREA DE ELEMENTE POTENŢIALE INTERIOARE

4.5.1. GENERALITĂŢI

Sistemele mari de distribuţie a apei, echipate exclusiv cu staţii exterioare de pompare, sunt caracterizate printr-un consum mare de

Scanned with OKEN Scanner

energie, necesară pentru vehicularea unor debite importante de apă şi asigurarea presiunii de serviciu la utilizatori.

Astfel, în municipiul Timişoara, consumul de energie electrică pentru distribuţia apei ajunge la valori de peste 80 MWh/zi, îndeosebi datorită faptului că orele de vârf ale necesarului de apă caldă corespund cu cele ale consumului de energie electrică.

De aceea, pe lângă problema reducerii consumului de energie electrică în mod absolut, prezintă interes însăşi micşorarea consumului de energie electrică în orele de vârf ale distribuţiei apei. Ca soluţie tehnică, în acest scop, se poate aplica micşorarea puterii de pompare (chiar oprirea agregatelor dacă este posibil) pe această durată, în schimbul unei livrări sporite în afara orelor de vârf, fiind necesară în consecinţă dotarea sistemului de distribuţie cu rezervoare de compensare, care în prezenta lucrare se denumesc generic *rezervoare interioare* (*zonale*) ale reţelei, iar staţiile pentru pomparea apei din acestea poartă denumirea de *staţii de pompare interioare*.

Un deziderat însă de importanţă mai mare este reducerea absolută a consumului de energie pentru pompare, care devine posibiă numai prin zonarea sistemului. În acest scop se poate utiliza fie o formă specială a procedeului zonării în paralel, fie o zonare verticală integrând pe artere staţii intermediare de pompare, fie o soluţie combinată cu mai multe elemente potenţiale.

În continuare se analizează o serie de procedee şi soluţii pentru micşorarea consumului energetic de pompare, folosind elemente potenţiale interioare, determinându-se eficienţa energetico-economică a acestora, cu exemplificări numerice, şi se formulează principiile care stau la baza noii concepţii de dezvoltare structurală a sistemelor de distribuţie a apei în centre populate.

4.5.2. PROCEDEE DE OPTIMIZARE STRUCTURALĂ ŞI FUNCŢIONALĂ CU ELEMENTE POTENŢIALE INTERIOARE

Principalele procedee de ordin structural ce trebuie avute în vedere la optimizarea energetică a sistemelor de distribuţie a apei constau în:

a) amplasarea optimă pe unele magistrale ale sistemului de distribuţie a unor rezervoare subterane interioare, alimentate prin aducţii de mică presiune, pe cât posibil gravitaţional, cu debitul necesar pentru consumatorii din aval, din care se repompează în reţea debitul transportat prin aducţii la presiunea relativ redusă a magistralei în punctul de racord, astfel încât nu se mai permite o pierdere considerabilă de energie ce ar avea loc la umplerea rezervoarelor prin reţeaua de distribuţie;

Scanned with OKEN Scanner

b) integrarea pe artere a stațiilor intermediare (repompare directă) sau a rezervoarelor sub presiune;

c) utilizarea castelelor de apă (rezervoare înalte), care asigură condiții optime pentru funcția compensatoare și pentru stabilitatea liniilor de presiune, devenind posibilă și oportună, în condițiile perfecționării tehnologiei de execuție [40], [227], din elemente prefabricate ansamblate prin postcomprimare;

d) folosirea rezervoarelor subterane pneumatice mari, care înlocuiesc castelele înalte și au avantajul unor oscilații mari ale regimului de presiune, dar necesită pompări și în orele de vârf ale solicitărilor de energie electrică;

e) amenajarea unor rezervoare subterane cu acțiunea coordonată cu cea a unor mici rezervoare înalte situate pe același amplasament, alimentate prin stații de pompare proprii în afara orelor de vârf.

4.5.2.1. **Folosirea rezervoarelor subterane zonale și a stațiilor de repompare interioare**

Prin acest procedeu se realizează o subîmpărțire a debitelor și sarcinilor elementelor potențiale exterioare astfel:

– din debitul total, livrat de *NP* stații de pompare exterioare, o parte Q_{pr} este transportat prin magistralele rețelei sub presiune și altă parte Q_{pa} este trimis prin aducții la *NR* rezervoare, conform relației:

$$\sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} = \sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k}; \qquad (4.31)$$

– înălțimea de pompare H_{pe} la stațiile exterioare se micșorează la valorea h_{pe}, astfel încât puterea totală a instalațiilor de pompare este dată de relația (4.32) sau (4.33), după cum se realizează aducții gravitaționale sau funcționând prin pompare:

$$P = \frac{\gamma}{\eta}\left(\sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pi,k}\right) \qquad (4.32)$$

$$P = \frac{\gamma}{\eta}\left(\sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pa,k} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pi,k}\right) \qquad (4.33)$$

în care: γ este greutatea specifică a apei; η – randamentul general al stațiilor de pompare; $Q_{pa,k}$ – debitele pompate de stațiile interioare; $H_{pi,k}$ – înălțimile de pompare corespunzătoare presiunilor necesare în zonele k deservite de stațiile interioare; $H_{pa,k}$ – sarcinile de pompare în aducții.

Scanned with OKEN Scanner

Sarcinile de pompare $h_{pe,j}$ sunt mult mai mici decât înălţimile de pompare $H_{pe,j}$, dat fiind faptul că pierderile de sarcină se modifică cu pătratele rapoartelor $Q_{pr,j}/Q_{p,j}<1$, astfel încât puterea staţiilor de pompare exterioare scade atât prin reducerea debitului cât şi a presiunii, iar puterea totală se micşorează cu:

$$\Delta P=\frac{\gamma}{\eta}\left(\sum_{j=1}^{NP}Q_{p,j}H_{pe,j}-P\right) \tag{4.34}$$

ceea ce conduce la reducerea consumului energetic în sistem, realizându-se pe durata de exploatare T_p, economia de energie electrică:

$$\Delta W_e=\Delta P T_p. \tag{4.35}$$

Apare dubla funcţie compensatoare, aceea de uzină şi de reţea, cu volumul rezervoarelor dat respectiv de relaţiile:

$$V_{uz}=\int_0^T\left(Q_{uz}-Q_p\right)dt \tag{4.36}$$

$$V_r=\int_0^T\left(Q_{pa}-Q_{pr}\right)\Big|_t dt \tag{4.37}$$

în care: Q_{uz} este debitul capabil al uzinei de apă; T – numărul de unităţi de timp în ciclul zilnic.

Se caută ca în măsura posibilităţilor să se utilizeze potenţialul natural determinat de diferenţa cotelor geodezice ale rezervoarelor uzinale şi ale rezervoarelor zonale din reţea.

Pe măsură ce locul unui rezervor zonal, cuplat cu o staţie de pompare interioară pe o magistrală, se deplasează spre debitele din ce în ce mai mari, adică spre extremitatea amonte a magistralei, puterea P_i a staţiei interioare creşte tot mai mult, pe când puterea P_e a staţiei exterioare se micşorează foarte mult, întrucât prin descărcarea tronsoanelor amonte ale magistralei, pierderile de sarcină scad după legea pătratică a lui Darcy-Weisbach. Rezultă că amplasamentul optim al rezervorului este dat de minimul sumei puterilor staţiilor de pompare exterioară şi interioară (fig. 4.20), pentru a cărui determinare s-a conceput un model matematic ce presupune cunoscute: lungimea L a magistralei, distribuţia debitelor în lungul acesteia şi diametrele D_M, D_m în secţiunea de alimentare A, prin staţia de pompare exterioară SP_e, şi respectiv în secţiunea terminală O.

Se folosesc notaţiile: x – abscisa secţiunii de calcul, raportată la extremitatea aval a magistralei; $Q(x)$ – debitul de calcul în secţiunea x (fig. 4.20.*b*); $S_o(x)$ – rezistenţa hidraulică specifică în secţiunea de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

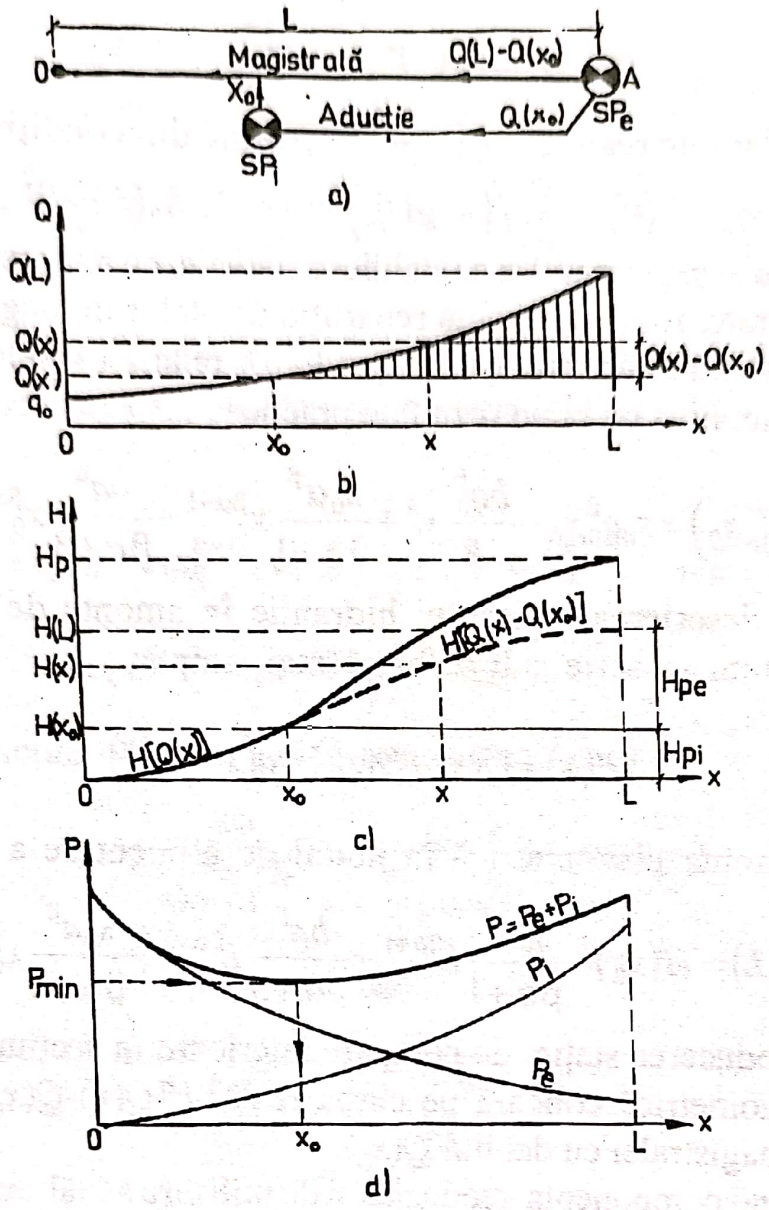


Fig. 4.20 – Amplasamentul optim al unui rezervor interior.

În nodul A magistrala se descarcă de debitul $Q(x_o)$ printr-o aducţie, situată între secţiunile A şi X_o, în care sunt amplasate rezervorul subteran şi staţia de pompare interioară.

Pierderea de sarcină până în secţiunea de calcul, cu abscisa x (fig. 4.20.*c*) este dată de relaţia:

$$H(x)=\int_0^x S_0(x)Q^{\beta}(x)\mathrm{d}x. \tag{4.38}$$

Variaţiile debitului $Q(x)$ şi a rezistenţei hidraulice specifice $S_o(x)$ se exprimă prin relaţiile:

$$Q(x)=q_0+ax^{\alpha}, \tag{4.39}$$

$$S_0(x)=s_0-bx^2 \tag{4.40}$$

în care constantele reale q_o, s_o, b se determină din condiţiile de margine: $x=0$, $Q(0)=q_o$, $S_0(0)=8\lambda_*/\left(\pi^2 gD_m^5\right)$ şi $x=L$, $S_0(L)=8\lambda_*/\left(\pi^2 gD_M^5\right)$, iar coeficientul a şi exponentul α se stabilesc statistic, cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate, fiind cunoscută repartiţia debitelor în lungul magistralei.

Introducând expresiile (4.39) şi (4.40), relaţia (4.38) se pune sub o formă aproximativă cu bune rezultate practice:

$$H(x_0)=s_0q_0^{\beta}x_0-\frac{bq_0^{\beta}}{3}x_0^3+\frac{s_0\alpha^{\beta}}{\beta\alpha+1}x_0^{\beta\alpha+1}-\frac{ba^{\beta}}{\beta\alpha+3}x_0^{\beta\alpha+3} \tag{4.41}$$

Pentru descrierea regimului hidraulic în amonte de secţiunea X_o, relaţia debitului se scrie sub o formă mai simplă:

$$Q'(x)=Q(x)-Q(x_0)=a\left(x^{\alpha}-x_0^{\alpha}\right) \tag{4.42}$$

rezultând sarcina piezometrică în nodul de alimentare a magistralei:

$$H(L)=H(x_0)+\frac{s_0a^{\beta}}{\beta\alpha+1}L^{\beta\alpha+1}-\frac{ba^{\beta}}{\beta\alpha+3}L^{\beta\alpha+3}-\frac{s_0a^{\beta}}{\beta\alpha+1}x_0^{\beta\alpha+3} \tag{4.43}$$

La introducerea staţiei de pompare interioare în secţiunea cu abscisa x_0, linia piezometrică coboară pe curba reală, $H[Q(x)\text{-}Q(x_0)]$, din cauza descărcării magistralei cu debitul $Q(x_0)$.

Neglijând componenta geodezică şi de utilizare a înălţimii de pompare întrucât este aproximativ aceeaşi atât pentru staţia de pompare exterioară cât şi pentru cea interioară, expresiile restrânse ale puterilor, corespunzătoare staţiilor de pompare, sunt:

$$P_i=\frac{\gamma}{\eta}Q(x_0)H(x_0), \tag{4.44}$$

$$P_e=\frac{\gamma}{\eta}\left[Q(L)-Q(x_0)\right]\left[H(L)-H(x_0)\right], \tag{4.45}$$

care în urma înlocuirilor şi efectuării calculelor devin:

$$P_i=\frac{\gamma}{\eta}\left(s_0q_0^{\beta+1}x_0+s_0aq_0^{\beta}x_0^{\alpha+1}-\frac{bq_0^{\beta+1}}{3}x_0^3-\frac{abq_0^{\beta}}{3}x_0^{\alpha+3}+\frac{s_0q_0a^{\beta}}{\beta\alpha+1}x_0^{\beta\alpha+1}+\right.$$
$$\left.+\frac{s_0a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1}x_0^{\alpha+\beta\alpha+1}-\frac{q_0ba^{\beta}}{\beta\alpha+3}x_0^{\beta\alpha+3}-\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}x_0^{\alpha+\beta\alpha+3}\right), \tag{4.46}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$P_e=\frac{\gamma}{\eta}\left[\frac{s_0a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1}L^{\alpha+\beta\alpha+1}-\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}L^{\alpha+\beta\alpha+3}+\left(\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}L^{\beta\alpha+3}-\frac{s_0a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1}L^{\beta\alpha+1}\right)x_0^{\alpha}-\right.$$

$$\left.-\frac{s_0a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1}L^{\alpha}x_0^{\beta\alpha+1}+\frac{s_0a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1}x_0^{\alpha+\beta\alpha+1}-\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}L^{\alpha}x_0^{\beta\alpha+3}-\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}x_0^{\alpha+\beta\alpha+3}\right]. \quad (4.47)$$

Soluţia optimă de amplasare a staţiei de pompare interioare este determinată de valoarea x_0, pentru care puterea totală $P = P_i + P_e$ devine minimă:

$$P=\frac{\gamma}{\eta}\left(c_0+c_1x_0+c_2x_0^{\alpha}+c_3x_0^{\alpha+1}+c_4x_0^{3}+c_5x_0^{\alpha+3}+c_6x_0^{\beta\alpha+1}+c_7x_0^{\alpha+\beta\alpha+1}+\right.$$

$$\left.+c_8x_0^{\beta\alpha+3}+c_9x_0^{\alpha+\beta\alpha+3}\right)\rightarrow\min, \quad (4.48)$$

coeficienţii funcţiei obiectiv având expresiile:

$$c_0=\frac{s_0a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1}L^{\alpha+\beta\alpha+1}-\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}L^{\alpha+\beta\alpha+3} \quad (4.49)$$

$$c_1=s_0q_0^{\beta+1} \quad (4.50)$$

$$c_2=\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}L^{\beta\alpha+3}-\frac{s_0a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1}L^{\beta\alpha+1} \quad (4.51)$$

$$c_3=s_0aq_o^{\beta} \quad (4.52)$$

$$c_4=-\frac{bq_0^{\beta+1}}{3} \quad (4.53)$$

$$c_5=-\frac{abq_0^{\beta}}{3} \quad (4.54)$$

$$c_6=\frac{s_0a^{\beta}}{\beta\alpha+1}\left(q_0-aL^{\alpha}\right) \quad (4.55)$$

$$c_7=2\frac{s_0\alpha^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} \quad (4.56)$$

$$c_8=\frac{ba^{\beta}}{\beta\alpha+3}\left(aL^{\alpha}-q_0\right) \quad (4.57)$$

Scanned with OKEN Scanner

$$c_9 = -2\frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha+3}, \tag{4.58}$$

Minimul funcţiei obiectiv (4.48) se evaluează utilizând metoda numerică a interpolării, pe baza algoritmului de căutare cu pas accelerat cuplat cu interpolarea pătratică [214], care s-a implementat în cadrul programului ordinator AMPORIN.

Pe măsură ce amplasamentul staţiei interioare se deplasează de la extremitatea aval a magistralei înspre amonte, sarcina de pompare şi puterea staţiei interioare creşte foarte repede, iar puterea staţiei exterioare scade încet. Locul în care scăderea puterii P_e devine nesemnificativă arată oportunitatea montării unui nou rezervor sau, mai indicat, a micşorării diametrului magistralei, valorile existente nemaifiind justificate.

Procedeul folosirii rezervoarelor zonale şi a staţiilor de repompare interioare se poate aplica şi în vederea amplificării capacităţii de transport a unor magistrale din reţea, cu sau fără majorarea unor diametre în amonte, respectiv dedublări ale conductelor magistrale, pentru a face faţă creşterii continue a consumului de apă în sistem.

4.5.2.2. **Integrarea staţiilor intermediare de pompare pe artere**

Rolul staţiilor de repompare folosite în mod curent este acela de a ridica local presiunea în conductele de aducţiune sau magistralele de distribuţie a apei.

Procedeul integrării agregatelor de pompare directă pe conductele magistrale ale reţelei reprezintă cea mai raţională posibilitate de conservare a energiei incluse în procesul distribuţiei.

Pe arterele pe care se montează o staţie de pompare având agregatele cuplate în paralel, apa este preluată la o presiune mai scăzută p_1 şi refulată la o presiune mai mare p_2, sarcina de pompare fiind $H_{pi}=(p_2 - p_1)/\gamma$.

În sistemele de distribuţie a apei acţiunea unei staţii de pompare integrate se manifestă în mod diferit la reţelele ramificate faţă de cele inelare. În orice situaţie pompele integrate vehiculează debitul de tranzit din punctul de instalare, astfel încât procedeul are avantajul de a micşora consumul de energie al sistemului, mărind presiunea în sectoarele din aval. Pe arterele unei reţele ramificate efectul repompării în sens longitudinal se resimte direct, neinfluenţat de structura reţelei, în timp ce integrarea staţiilor de pompare pe arterele unor reţele inelare reprezintă probleme de mai mare complexitate. Astfel, utilizarea staţiilor intermediare de pompare montate în serie pe unele artere (fig. 4.21) amplifică debitul de tranzit al acestor conducte, provocând o zonă de mică presiune amonte, în nodul dinspre aspiraţie, dar asigură o creştere

Scanned with OKEN Scanner

însemnată a presiunii aval, în nodul de refulare, creându-se deci creşteri locale, favorabile, ale cotelor piezometrice în sistem. Staţia de repompare astfel integrată se prevede aproape de nodul amonte, de aspiraţie, iar racordarea conductelor de serviciu la tronsoanele amonte nu se face din nodul de aspiraţie, ci imediat aval de pompă.

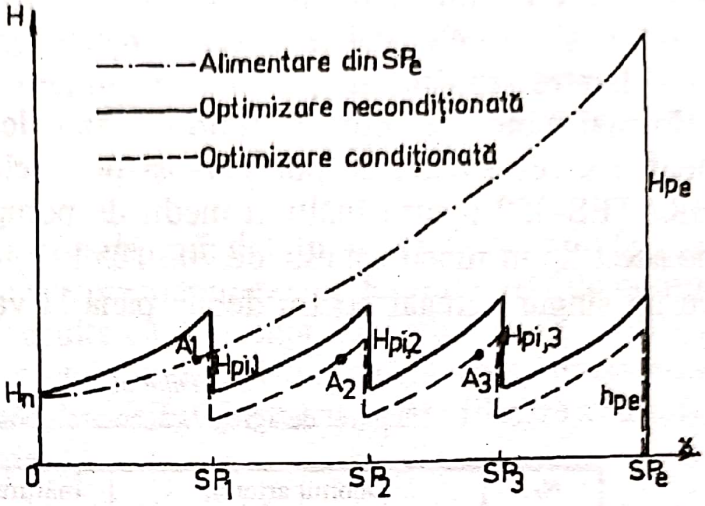


Fig. 4.21 – Schema optimizării prin integrarea staţiilor de repompare pe artere.

Considerând că într-un sistem de distribuţie deservit de *NP* staţii de pompare exterioare pe un număr *NA* de artere se prevăd staţii de repompare montate direct, în serie, puterea totală în sistem este:

$$P=\frac{\gamma}{\eta}\left(\sum_{j=1}^{NP}Q_{\mathrm{p},j}h_{\mathrm{pe},j}+\sum_{k=1}^{NA}Q_{\mathrm{pa},k}H_{\mathrm{pi},k}\right) \qquad (4.59)$$

în care: $Q_{\mathrm{p},j}$, $h_{\mathrm{pe},j}$ sunt debitul şi sarcina staţiei exterioare de pompare j; $Q_{\mathrm{pa},k}$, $H_{\mathrm{pi},k}$ – debitul şi înălţimea de pompare, corespunzătoare presiunii necesare din reţea la care funcţionează staţia de repompare integrată k.

Întrucât înălţimile de pompare a staţiilor exterioare se micşorează ($h_{\mathrm{pe},j} << H_{\mathrm{pe},j}$), iar debitele staţiilor intermediare devin egale cu debitele locale ale arterelor pe care se integrează, rezultă o reducere de putere:

$$\Delta P=\frac{\gamma}{\eta}\left(\sum_{j=1}^{NP}Q_{\mathrm{p},j}H_{\mathrm{pe},j}-P\right), \qquad (4.60)$$

ceea ce conduce şi la micşorarea consumului de energie în sistem, realizându-se economia de energie electrică ΔW_e dată de relaţia (4.35).

În cazul *optimizării necondiţionate,* aşa cum se arată în figura 4.21, treptele de presiune, create prin integrarea staţiilor de pompare intermediare, trebuie să respecte limitele presiunilor necesare H_{nec} pe artere.

Se poate aplica şi o *optimizare condiţionată*, prin racordarea conductelor de serviciu imediat aval de staţiile de repompare integrate,

Scanned with OKEN Scanner

în puncte de felul A_1, A_2, A_3, astfel încât în artere presiunea să scadă practic chiar sub valorile asigurate H_{nec}, obţinându-se o şi mai mare economie de energie în sistem.

O problemă deosebit de complexă este alegerea tipului optim de agregate şi a numărului lor în fiecare staţie. În acest sens se recomandă pompele cu rotor în dublu flux, întrucât se montează pe artere în bune condiţii şi cu cele mai mici rezistenţe hidraulice.

Dintre familiile de pompe centrifuge de producţie internă analizate, cele mai bune s-au dovedit pompele radiale monoetajate tip SIRET-400 pentru sarcini mari de pompare şi pompele diagonale monoetajate tip BRATEŞ-350 pentru înălţimi medii de pompare. Puterea fiecărui agregat de acest tip în funcţiune este de 70...125 kW, fiind necesară echiparea staţiei cu un singur agregat pentru debite până la valorile înscrise în tabelul 4.4..

Tabelul 4.4

Numărul de agregate necesare în funcţie de debit

Nr. agreg.	Debitul arterei, Q_{pa} [m^3/s]		Înălţimea de pompare H_p [m]	Puterea consumată P [kW]
	iniţial	în acţiune		
0	1	2	3	4
1	0,35...0,5	0,5...0,8	11,0... 8,5	70...125
2	0,80...1,2	0,8...1,4	11,5...10,0	115...230
3	1,20...1,5	1,4...2,0	12,0...10,5	210...340
4	1,50...1,9	2,0...2,5	12,5...11,0	310...440
5	1,90...2,5	2,5...3,0	14,0...11,5	410...590
6	2,50...3,0	3,0...3,6	16,0...12,0	510...810

Alegerea amplasamentului unei staţii de repompare integrate depinde în foarte mare măsură de rezistenţa hidraulică a conductelor din nodul iniţial şi din nodul final al arterei pe care se intercalează. Pentru ca repomparea să fie eficientă este nevoie ca diametrele ramificaţiilor alimentate aval de staţiile integrate să fie mai mici decât acelea ale arterei de repompare. Introducerea staţiilor intermediare de pompare în reţelele inelare modifică esenţial regimul hidraulic al sistemului. Acţiunea fiecărei staţii de repompare integrate în reţea este dublă, pe de o parte ea ridică presiunea apei în conductă în sensul de mişcare al apei, iar pe de altă parte măreşte pierderea de sarcină pe traseul ei de acţionare, deoarece contribuie la creşterea debitului pe acelaşi traseu. Scăderea presiunii în zona de aspiraţie poate atinge valori importante şi cu atât mai mari cu cât numărul de agregate este mai mare. De aceea sunt necesare mai multe încercări pentru stabilirea amplasamentului optim şi alegerea numărului de pompe. Soluţia optimă de amplasare a staţiilor de pompare intermediare şi de alegere a numărului acestora, precum şi al agregatelor în cadrul fiecăreia este aceea cu puterea totală instalată minimă.

Scanned with OKEN Scanner

4.5.2.3. Amenajarea castelelor de apă

Rezervoarele înalte din reţelele de distribuţie a apei, prin funcţia compensatoare pe care o exercită, prezintă oscilaţii importante de nivel, fiind necesar ca presiunea de serviciu să fie asigurată chiar şi la cele mai mici nivele de apă din cuve. Oscilaţiile consumului de apă în reţea conduc la modificarea regimului de funcţionare a acesteia. Debitele antrenate în reţea pentru ziua de consum maxim se stabilesc pentru fiecare moment caracteristic de calcul. Pentru exemplificarea modului de stabilire a regimului se prezintă bilanţul debitelor în reţea pentru două momente caracteristice de calcul:

a) *La ora cu necesar maxim de apă*, debitul maxim orar este $Q_{\text{orar max}}$, şi dacă debitul maxim zilnic se consideră egal cu debitul livrat de pompele de distribuţie $Q_p = Q_{\text{zi max}}$, rezultă că diferenţa de debit trebuie livrată din rezervorul de compensare al castelului de apă din reţea. Debitul din conducta de racord a castelului la reţea este debitul fluctuant Q_f de utilizare a castelului şi care se determină cu relaţia:

$$Q_f = Q_{f\,\min} = Q_{\text{orar max}} - Q_{\text{zi max}}. \tag{4.61}$$

b) *La ora cu necesar minim de apă*, debitul minim orar este $Q_{\text{orar min}}$, iar debitul pompat se poate considera practic egal cu debitul maxim zilnic; $Q'_p = Q_{\text{zi max}}$. Diferenţa de debit este acumulată în rezervorul castelului de apă, iar debitul din conducta de racord, considerat ca debit fluctuant Q'_f, sevește la umplerea castelului şi se determină cu relaţia:

$$Q'_f = Q_{f\,\max} = Q_{\text{zi max}} - Q_{\text{orar min}}. \tag{4.62}$$

Regimul debitelor şi cel al presiunilor din reţea depinde în mare măsură de amplasamentul castelului în raport cu poziţia staţiei de pompare, dar şi de regimul de construcţii de pe vatra localităţii.

Castelul de apă poate fi de capăt, de trecere, lateral sau central.

- În cazul utilizării unui castel de capăt (fig. 4.22), oscilaţiile cele mai mari ale debitelor şi presiunilor se resimt în cazul debitelor de tranzit vehiculate în reţea. La ora de consum maxim (*a*) diagrama debitelor scade valoric către punctul obligat PO, în care se epuizează atât debitul pompat Q_p cât şi debitul fluctuant Q_f. La ora de consum minim (*b*), debitul de tranzit Q'_f are sens unic şi este utilizat pentru umplerea castelului. Liniile de presiune, corespunzătoare celor două momente caracteristice, prezintă cotele cele mai coborâte în ora de consum maxim şi cele mai înalte în ora de consum minim. Înălţimea de pompare H_p are valoarea maximă pentru consumul orar minim. Deoarece caracteristica pompelor nu permite livrarea aceluiaşi debit pompat Q_p la ora de necesar maxim, înseamnă că de fapt valoarea Q'_p este mai mică decât $Q_{\text{zi max}}$ şi de aceea la calculul exact trebuie introdusă o corecţie, iar calculul cu debitul fluctuant Q'_f este acoperitor [105].

Scanned with OKEN Scanner

• În cazul utilizării unui castel de trecere amplasat la începutul vetrei alimentate (fig. 4.23), debitele în arterele de la intrare au valori maxime, în ora de consum maxim (*a*), date de $Q_{\text{orar max}}$ și valori foarte mici, în ora de consum minim (*b*), date de $Q_{\text{orar min}}$.

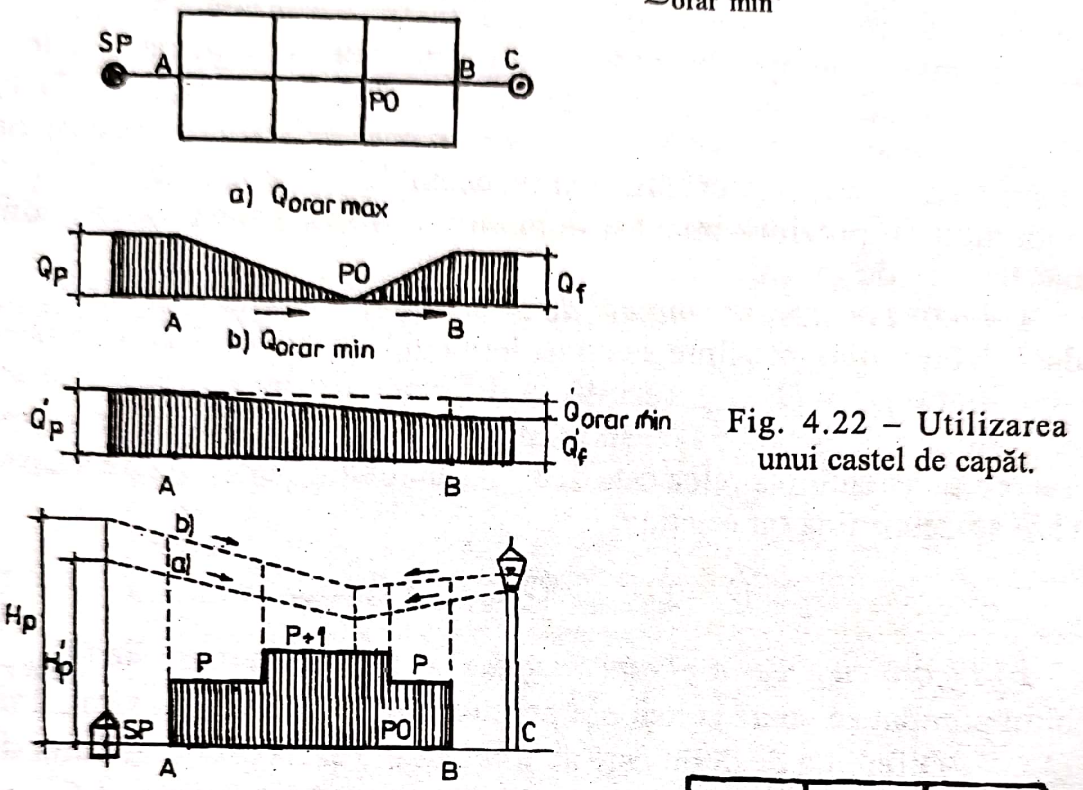


Fig. 4.22 – Utilizarea unui castel de capăt.

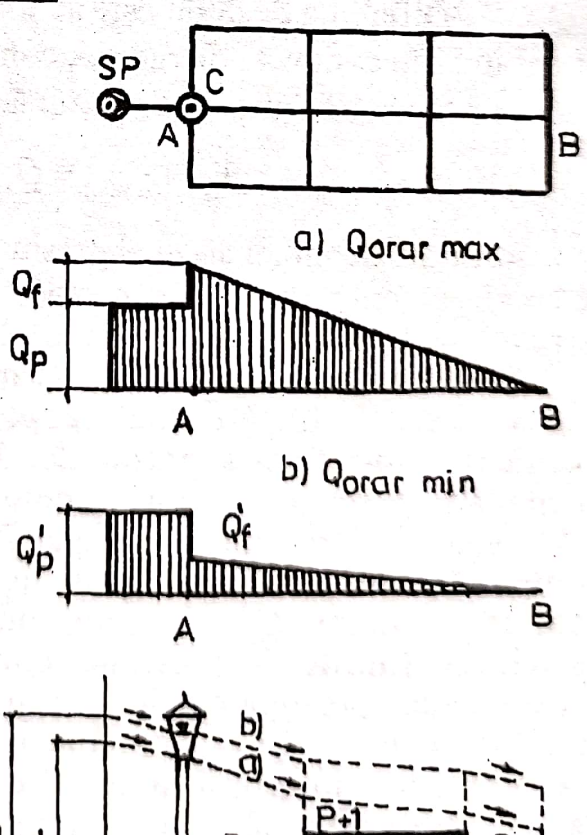


Fig. 4.23 – Utilizarea unui castel de trecere.

Liniile de presiune se prezintă în consecinţă. În acest caz sarcina maximă de pompare este ceva mai mică decât în cazul anterior.

• Amplasarea laterală a castelului de apă sau în centrul de greutate al localităţii (fig. 4.24) este o situaţie intermediară în care regimul debitelor cunoaşte variaţii mai mici, iar cotele liniilor de presiune sunt mai constante.

Economia realizată la o investiţie mai redusă în staţia de pompare şi conducta principală de distribuţie este în acest caz parţială. Totuşi în nici un sector al reţelei nu este necesară dimensionarea la $Q_{\text{orar max}}$ ca în alternativa cu castel de capăt.

• În cazul în care forajul F cu staţia de pompare SP şi castelul de apă C sunt amplasate în centrul de greutate al localităţii (fig. 4.25), regimul debitelor cunoaşte variaţii mai mici, iar liniile de prersiune sunt mai constante, având alura unui clopot Gauss.

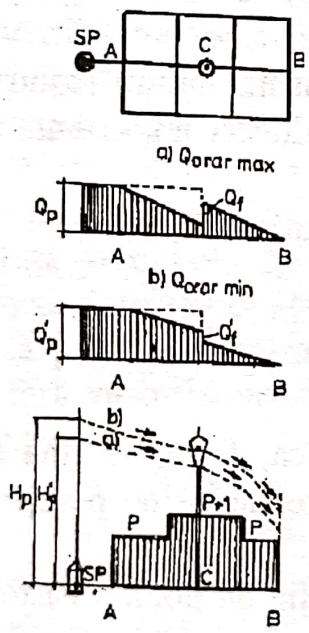


Fig. 4.24 – Utilizarea unui castel central.

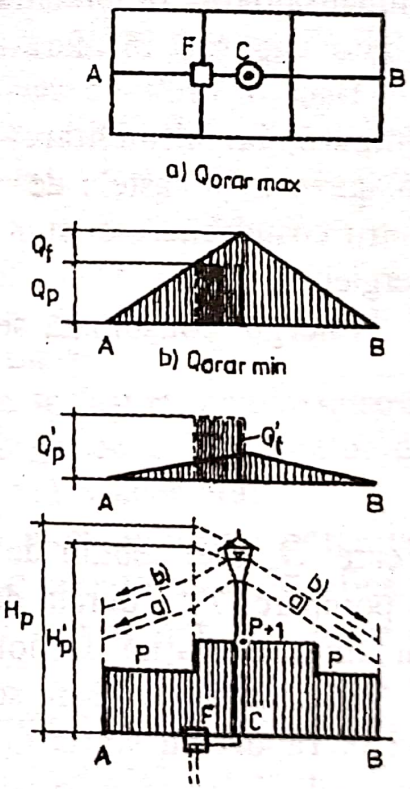


Fig. 4.25 – Amplasarea castelului de apă şi a forajului în centrul de greutate al localităţii.

În acest caz sarcinile de pompare au cele mai mici valori, iar din punct de vedere economic este alternativa cu cele mai scăzute cheltuieli energetice.

În oricare din alternativele de amplasare a castelului volumul de compensare necesar rămâne neschimbat, iar ciclurile de umplere se produc identic.

Compensarea uzinală şi cea de reţea necesită capacităţi ale castelelor de apă date de relaţiile (4.36) şi (4.37).

Din punct de vedere constructiv, castelele de apă aplicate curent se execută de formă cilindrică, tronconică sau cu o geometrie specială, forme care au fost optimizate [227] pentru a se realiza indicatori tehnico-economici cât mai favorabili. La profilul optim, din considerente de ordin static şi de rezistenţă, înălţimea apei în rezervoare ajunge la valori mari, de 4...10 m, ceea ce atrage după sine ridicarea cotelor liniilor de presiune în sistem şi creşterea esenţială a consumului de energie de pompare.

Din punct de vedere energetic, costul relativ ridicat al rezervoarelor înalte se justifică prin micşorarea consumului de energie în orele de vârf. La vârfurile programului de pompare, între orele 7-9 şi 17-21, când tariful energiei electrice este mai ridicat, este recomandabil să se livreze debite mai mici prin staţiile de pompare exterioare, diferenţele compensatoare completându-se din castelele de apă, a căror umplere trebuie asigurată în afara acestor ore.

Dacă în orele de vârf (în medie 4 ore/zi) se opresc agregatele de pompare, iar alimentarea cu apă a localităţii se face din volumul înmagazinat în castele de apă în orele de consum minim (când tarifele pentru costul energiei sunt mici), se obţin reduceri importante la plata energiei electrice.

Energia consumată se determină cu relaţia:

$$W_e = \frac{9,81}{\eta} Q_p H_{pe} T_p \qquad (4.63)$$

în care: Q_p este debitul de apă pompat în reţea; H_{pe} – sarcina maximă de pompare; T_p – durata de funcţionare a agregatelor de pompare; η – randamentul staţiei de pompare.

Sarcina de pompare se stabileşte în funcţie de poziţia castelului de apă în raport cu staţia de pompare, de presiunea de serviciu şi de pierderile de sarcină în conductele de transport.

Economia obţinută prin transferul consumului de energie din orele de vârf în orele de bază se calculează cu relaţia:

$$\Delta C_w = \frac{9,81}{\eta} Q_p H_{pe} T_p (e_1 - e_2) \qquad (4.64)$$

în care e_1, e_2 sunt tarifele estimate ale energiei electrice în orele de la vârful consumului şi respectiv de la bază. Însă, din cauza oscilaţiilor mari de nivel, avantajul economisirii energiei în orele de vârf se pierde de obicei prin creşterea consumului energetic global.

Scanned with OKEN Scanner

4.5.3. PRINCIPII DE BAZĂ PENTRU DEZVOLTAREA STRUCTURALĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUŢIE CU ELEMENTE POTENŢIALE INTERIOARE

Deoarece realizarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă se efectuează etapizat, procedeele pentru optimizarea distribuţiei în scopul micşorării consumului energetic de pompare se pot combina, respectându-se unele principii de bază în dezvoltarea structurală a sistemului de distribuţie:

– în prima etapă se execută rezervoarele subterane zonale şi staţiile de pompare interioare ataşate, astfel încât primele elemente potenţiale care intră în funcţiune să asigure circulaţia favorabilă a debitelor de tranzit şi să ridice presiunile disponibile în zonele cele mai deficitare;

– introducerea staţiilor intermediare de pompare pe artere se realizează etapizat, pe măsură ce apare necesitatea ridicării locale a presiunii în anumite zone ale reţelei, şi numai pe arterele ce rămân în funcţiune în etapele de perspectivă, întrucât mutarea ulterioară a amplasamentului acestor staţii este costisitoare şi ridică probleme dificile legate de consumul de energie şi execuţia liniilor electrice de alimentare;

– amplasarea castelelor de apă în reţea se realizează în etapele ulterioare amplificării, pentru a contribui la micşorarea consumului energetic de vârf, pe cât este posibil la cote nu prea înalte, în scopul de a nu obliga pomparea apei la presiuni prea mari;

– succesiunea unor elemente potenţiale de acelaşi fel pe o magistrală trebuie să permită menţinerea eficienţei energetice a elementelor din amonte fără să influenţeze funcţionarea optimă a acestora;

– introducerea pe aceeaşi magistrală a unor elemente potenţiale cu rol funcţional diferit trebuie studiată în mod coordonat, cu verificarea eficienţei energetice a tuturor elementelor din sistem. O staţie de repompare integrată nu se dispune niciodată înaintea unui castel de apă, iar staţia de pompare interioară ataşată unui rezervor zonal trebuie obligatoriu amplasată înaintea unei staţii de pompare intermediare.

4.5.4. EFICIENŢA ECONOMICĂ A PROCEDEELOR DE DISTRIBUŢIE

Introducerea elementelor potenţiale în reţelele de distribuţie a apei necesită o investiţie suplimentară, a cărei eficienţă se cercetează cu ajutorul *timpului de recuperare diferenţial*, T_r, calculat cu relaţia:

$$T_r = \frac{\Delta I}{C_e - C_i} \leq T_n \qquad (4.65)$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: ΔI este investiţia suplimentară necesară în cazul sistemului optimizat; C_e – cheltuielile anuale de exploatare pentru sistemul de distribuţie referenţial cu reţea alimentată prin pompare unilaterală din exterior; C_i – cheltuielile anuale de exploatare pentru sistemul cu elemente potenţiale interioare; T_n – durata normată de amortizare adoptată (10 ani).

Investiţia suplimentară ΔI are expresia generală:

$$\Delta I = I_a + \sum f_i P_i + \sum r_i V_i \tag{4.66}$$

în care: I_a este investiţia necesară realizării aducţiilor; f_i – costul de instalare a unităţii de putere în staţiile de pompare interioare, cu puterile P_i; r_i – costul unitar pentru investiţii în rezervoarele interioare ale sistemului, cu volumele V_i.

Cheltuielile anuale principale de exploatare C_e şi C_i, formate din cotele de amortizare, reparaţii şi întreţinere şi costul energiei necesare la pompare, se exprimă prin relaţiile:

$$C_e = pI_e + \sum eP_e T_{pe} \tag{4.67}$$

$$C_i = p(I_e + \Delta I) + \sum eP_e' T_{pe}' + \sum eP_i T_{pi} \tag{4.68}$$

unde:

$$I_e = I_c + \sum f_e P_e + \sum r_e V_e \tag{4.69}$$

în care: p este cota medie anuală de amortizare, reparaţii şi întreţinere pentru sistemul de distribuţie; I_e – investiţia necesară realizării sistemului de distribuţie referenţial; e – tariful energiei electrice considerat diferenţiat pentru orele de vârf şi restul orelor de consum energetic; T_{pe} – timpul de funcţionare a staţiilor de pompare exterioare cu puterile P_e, în sistemul referenţial; T'_{pe} – timpul de funcţionare a staţiilor de pompare exterioare cu puterile P'_e, în sistemul optimizat; T_{pi} – timpul de funcţionare a staţiilor de pompare interioare cu puterile P_i; I_c – investiţia în conductele magistrale ale sistemului clasic; f_e – costul de instalare a unităţii de putere în staţiile de pompare exterioare; r_e – costul unitar pentru investiţii în rezervoarele uzinale ale sistemului, cu volumele V_e.

Ţinând seama de relaţiile (4.63), (4.64) şi folosind notaţiile:

$$C_{we} = \sum eP_e T_{pe} \tag{4.70}$$

$$C_{wi} = \sum eP_e' T_{pe}' + \sum eP_i T_{pi} \tag{4.71}$$

$$\Delta C_w = C_{we} - C_{wi}, \tag{4.72}$$

expresia (4.61) a timpului de recuperare diferenţial primeşte forma:

$$T_r = \frac{\Delta I}{\Delta C_w - p\Delta I} \leq T_n \qquad (4.73)$$

în care ΔC_w este diferenţa dintre costul energiei C_{we} în sistemul de distribuţie referenţial şi costul energiei C_{wi} în sistemul optimizat.

4.5.5. EXEMPLIFICĂRI NUMERICE ALE APLICĂRII PROCEDEELOR DE OPTIMIZARE FUNCŢIONALĂ A DISTRIBUŢIEI

• *Analiza influenţei caracteristicilor potenţiale a castelelor de apă asupra bilanţului energetic al distribuţiei.* Pornind de la o repartiţie orară a consumului de apă de mare răspândire, redată în mărimi relative în tabelul 4.5, se analizează funcţia compensatoare a două tipuri de castele de apă: rezervorul tronconic optimizat, cu unghiul de înclinare a generatoarei faţă de orizontală de 45°, cu diametrele de 36 m şi respectiv 16 m şi cu înălţimea

Tabelul 4.5

Evaluarea volumului compensator de reţea al castelelor de apă

Ora	Coef. consum, [%]		Coef. pompare, [%]		Coef. compens, [%]		Vol. comp.
	α_c	$\Sigma\alpha_c$	α_p	$\Sigma\alpha_p$	α_r	$\Sigma\alpha_r$	α_v
0	1	2	3	4	5	6	7
0-1	3,30	3,30	4,50	4,50	1,20	1,20	2,80
1-2	3,25	6,55	4,50	9,00	1,25	2,45	4,05
2-3	3,25	9,80	4,50	13,50	1,25	3,70	5,30
3-4	3,25	13,05	4,50	18,00	1,25	4,95	6,55
4-5	3,40	16,45	4,50	22,50	1,10	6,05	7,65
5-6	3,95	20,40	4,50	27,00	0,55	6,60	8,20
6-7	4,80	25,20	4,50	31,50	-0,30	6,30	7,70
7-8	5,25	30,40	2,50	34,00	-2,70	3,60	5,10
8-9	4,55	34,95	3,00	37,00	-1,55	2,05	3,55
9-10	4,55	39,50	4,50	40,50	-0,05	2,00	3,60
10-11	4,60	44,10	5,50	47,00	0,90	2,90	4,50
11-12	4,50	48,60	5,20	52,50	1,00	3,90	5,50
12-13	4,75	53,35	5,25	57,75	0,50	4,40	6,00
13-14	4,50	57,85	5,25	63,00	0,75	5,15	6,75
14-15	4,30	62,15	5,00	68,00	0,70	5,85	7,45
15-16	4,25	66,40	4,50	72,50	0,25	6,10	7,70
16-17	4,20	70,60	4,25	76,75	0,05	6,15	7,75
17-18	4,10	74,70	2,50	79,25	-1,60	4,55	6,15
18-19	4,20	78,90	2,50	81,75	-1,70	2,85	4,45
19-20	4,30	83,10	2,85	84,60	-1,45	1,40	3,15
20-21	5,00	88,20	3,00	87,75	-2,00	-0,45	1,15
21-22	4,80	93,00	3,65	91,40	-1,15	-1,60	0
22-23	3,60	96,60	4,25	95,50	0,65	-1,10	0,50
23-24	3,40	100,00	4,50	100,00	1,10	0	2,70

Scanned with OKEN Scanner

maximă de 10 m şi rezervorul plat cu înălţimea de 2 m, în sistemul de distribuţie al unui mare centru urban industrializat având încărcarea medie orară egală cu debitul maxim zilnic de 3,49 m^3/s. Programul pompării este astfel întocmit încât în orele de vârf ale consumului energetic alimentarea cu apă a sistemului să fie mai redusă.

Prin transpunerea volumelor compensatoare din procente în mărimi absolute s-a calculat înălţimea apei în fiecare moment pentru ambele tipuri de rezervoare şi s-a reprezentat grafic variaţia acesteia în figura 4.26, pe baza căreia s-a efectuat în tabelul 4.6 calculul comparativ al consumului de energie electrică.

Tabelul 4.6

Calculul consumului energetic la distribuţia apei folosind rezervoarele înalte

Ora	Pompare		Rezervor tronconic			Rezervor plat		
	α_p [%]	Q_p [m^3/s]	H_p [m]	P [kW]	W_e [kWh/zi]	H_p [m]	P [kW]	W_e [kWh/zi]
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	4,50	4,25	53,6	2980	67375	43,7	2710	59980
1-2	4,50	4,25	54,4	3025		48,8	2715	
2-3	4,50	4,25	53,6	2980		48,7	2710	
3-4	4,50	4,25	56,8	3160		49,0	2725	
4-5	4,50	4,25	57,2	3180		49,5	2750	
5-6	4,50	4,25	57,7	3205		49,8	2770	
6-7	4,50	4,25	56,8	3155		49,8	2770	
7-8	2,50	2,36	56,4	1740		49,3	1520	
8-9	3,00	2,83	56,3	2085		48,9	1810	
9-10	4,50	4,25	54,0	3000		48,8	2710	
10-11	5,50	5,20	54,5	3705		49,0	3330	
11-12	5,20	4,91	55,7	3580		49,2	3160	
12-13	5,25	4,96	56,2	3645		49,3	3200	
13-14	5,25	4,96	56,7	3680		49,4	3205	
14-15	5,00	4,73	56,8	3515		49,5	3060	
15-16	4,50	4,25	56,9	3160		49,9	2775	
16-17	4,25	4,02	56,8	2985		49,7	2615	
17-18	2,50	2,36	56,5	1745		49,6	1530	
18-19	2,50	2,36	55,3	1705		49,3	1520	
19-20	2,85	2,03	54,2	1440		48,9	1300	
20-21	3,00	2,83	53,8	1990		48,4	1790	
21-22	3,50	3,30	49,4	2130		48,1	2075	
22-23	4,25	4,02	50,4	2650		48,1	2530	
23-24	4,50	4,25	52,8	2935		46,8	2700	
Economia de energie, ΔW_e		[MWh/an]				2662		
		[%]				11		

Scanned with OKEN Scanner

Din cauza oscilațiilor de nivel şi a înălțimii mai mari a apei, rezultă la rezervorul tronconic un consum energetic de 67375 kWh/zi, față de numai 59980 kWh/zi în cazul rezervorului plat de mică înălțime a apei, realizându-se în cea de a doua soluție o economie de energie electrică de 2662 MWh/an, ceea ce reprezintă o micşorare a consumului energetic de 11 %.

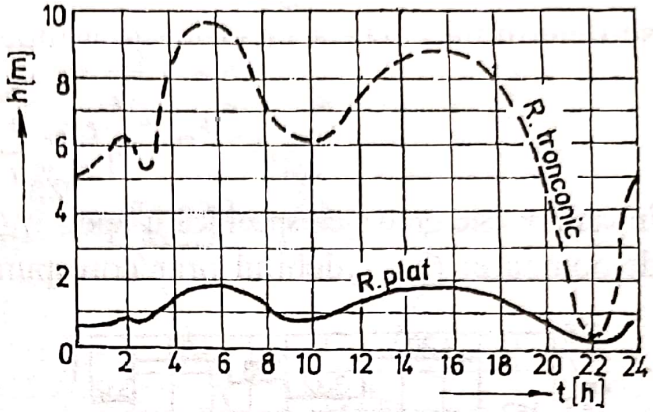


Fig. 4.26 – Oscilația nivelului apei în castelele de apă.

În general, pentru centre urbane industrializate cu alte caracteristici tehnologice, valorile absolute variază între limite foarte largi, însă proporțiile, la nivelul parametrilor comparabili, se mențin şi în principiu rezultatele calculelor comparative îşi păstrează valabilitatea.

Micşorarea consumului energetic în mod absolut la rezervoarele înalte plate de mică înălțime a apei impune aceste structuri ca soluții raționale în tehnica distribuției apei.

• *Analiza energetico-economică comparativă a soluțiilor de optimizare cu elemente potențiale interioare a unui sistem mare de distribuție*. Se efectuează analiza comparativă a mai multor soluții structurale cu elemente potențiale interioare, considerând un centru urban industrializat având rețeaua de distribuție de mare extindere, cu schema din figura 4.27.

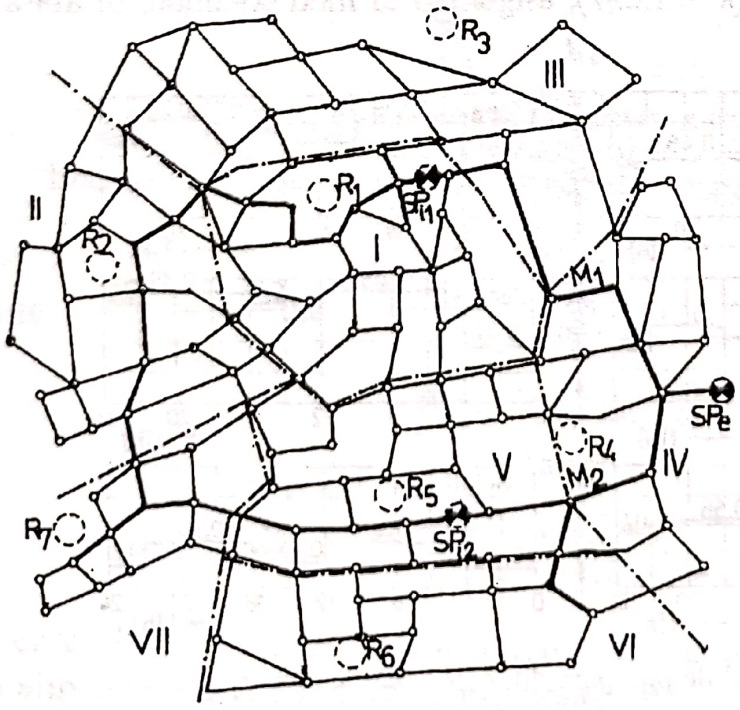


Fig. 4.27 – Schema rețelei de distribuție analizate.

Se propun pentru analiză patru soluţii de distribuţie a apei:

a) *prima soluţie* reprezintă varianta clasică de referinţă, cu staţie de pompare exterioară la uzina de apă, ce asigură debitul $Q_{\text{orar max}} = 4{,}30\ \text{m}^3/\text{s}$ şi sarcina medie de pompare $H_{\text{pe}} = 60$ m.

Ţinând seama de graficul variaţiei orare a debitului pompat (fig. 4.28), se determină energia electrică consumată zilnic W_{ee}, cu relaţia:

$$W_{\text{ee}} = \frac{\gamma}{\eta} H_{\text{pe}} \sum_i Q_{\text{oi}} t_i \qquad (4.74)$$

în care: γ este greutatea specifică a apei; η – randamentul global al instalaţiei de pompare; Q_{oi} – debitul orar corespunzător perioadei de timp t_i din zi.

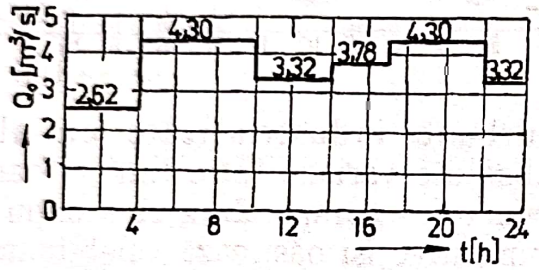


Fig. 4.28 – Graficul de pompare al SP_e în soluţia de referinţă.

b) *soluţia a doua* presupune o zonare a localităţii în funcţie de gradul de dotare a clădirilor, densitatea populaţiei, consumatorii industriali existenţi, rezultând $NR = 7$ zone de consum distincte în ale căror centre de greutate se amplasează rezervoare subterane. Din rezervoarele zonale, prin intermediul unor staţii de pompare interioare, se asigură debitul orar Q_0 conform graficelor din figura 4.29 şi presiunea necesară pentru zonele de consum. Staţia de pompare exterioară SP_e, printr-o reţea inelară de conducte de mică presiune (fig. 4.30), alimentează rezervoarele R_k ($k = 1,...,7$), asigurând în mod continuu, în afara

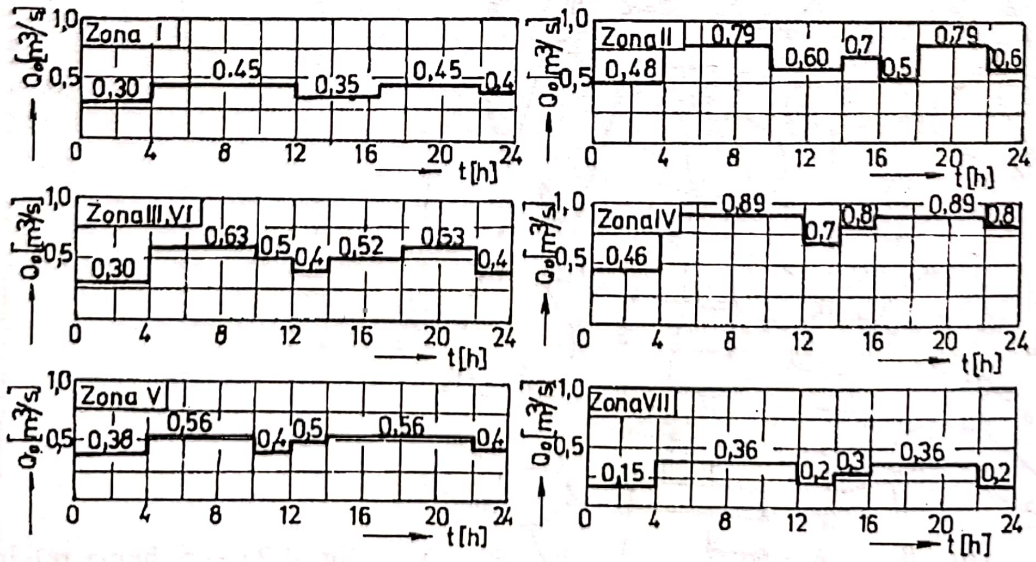


Fig. 4.29 – Graficul de pompare din rezervoarele zonale.

orelor de vârf ale consumului energetic, debitul $Q_{\text{zi max}}$ = 3,94 m³/s şi sarcina medie h_{pe} = 15 m pentru învingerea pierderilor de energie în conducte şi a diferenţei maxime între cota nivelului apei în bazinul de aspiraţie a pompelor şi a nivelului maxim al apei în rezervoare.

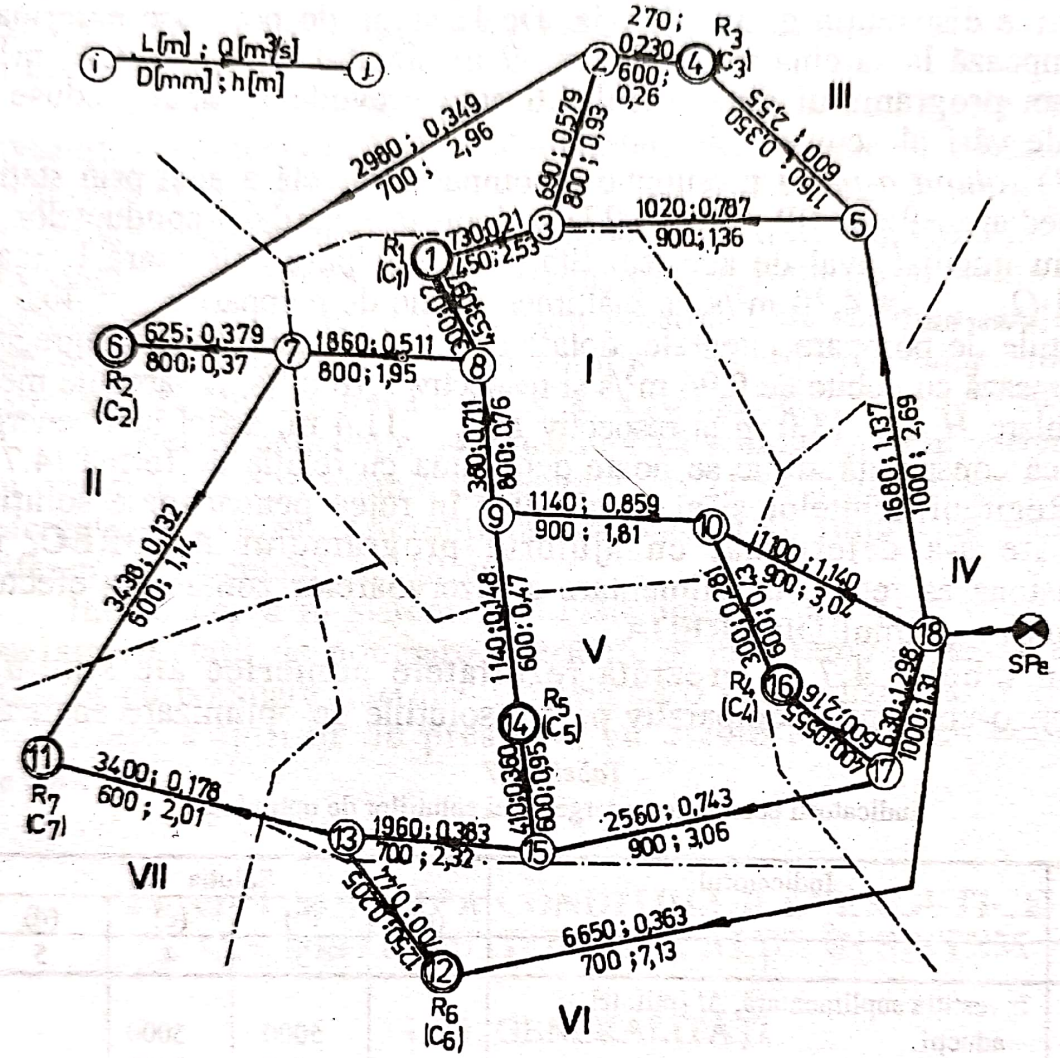


Fig. 4.30 – Schema reţelei de alimentare a rezervoarelor zonale.

Energia totală consumată zilnic în această soluţie W_{e} se determină cu relaţia:

$$W_{\text{e}} = W_{\text{ee}} + W_{\text{ei}} \tag{4.75}$$

unde:

$$W_{\text{ee}} = \frac{\gamma}{\eta} h_{\text{pe}} Q_{\text{zi max}} t, \tag{4.76}$$

$$W_{\text{ei}} = \frac{\gamma}{\eta} \sum_{k=1}^{NR} H_{\text{pi},k} \sum_{i} Q_{\text{oi},k} t_{i,k}, \tag{4.77}$$

în care: W_{ee} este energia consumată pentru pomparea apei în reţeaua de alimentare a rezervoarelor interioare; W_{ei} – energia consumată pentru

pomparea apei din rezervoare în reţelele zonale; t – numărul orelor de pompare pe zi; $H_{pi,k}$ – înălţimile medii de pompare corespunzătoare zonelor de consum k, având, respectiv, valorile în m, de: 30,2; 40,8; 33,7; 43,6; 31,1; 37,5; 29,4.

c) soluţia a treia înlocuieşte rezervoarele subterane cu castelele de apă C_k (k = 1,...,7) cu oscilaţii mici de nivel (fig. 4.30), care asigură în zonele respective distribuţia gravitaţională. De la staţia de pompare exterioară se pompează la sarcina medie h_{pe} = 49 m, debitul $Q_{zi\ max}$ = 3,94 m^3/s, conform programului din tabelul 4.6 care prevede pompări reduse în orele de vârf ale consumului energetic.

d) soluţia a patra presupune repomparea directă a apei prin staţiile intermediare SP_{i1} şi SP_{i2} (fig. 4.27) în ipoteza racordării conductelor de serviciu imediat aval de acestea. Staţia de pompare exterioară livrează debitul $Q_{orar\ max}$ = 4,30 m^3/s, la înălţimea medie de pompare h_{pe} = 40,5 m, iar staţiile de pompare integrate, dotate cu două şi respectiv trei agregate, funcţionează cu debite de 0,94 m^3/s şi respectiv 1,78 m^3/s, la sarcinile medii de refulare $H_{pi,1}$ = 13,0 m şi respectiv $H_{pi,2}$ = 11,4 m, astfel încât energia electrică consumată zilnic se poate determina cu relaţia de forma (4.75).

Regimul debitelor şi al presiunilor în reţea pentru toate soluţiile analizate s-a determinat cu ajutorul programului ANOREC, iar dimensionarea reţelei de alimentare a rezervoarelor zonale s-a efectuat folosind programul DIOPREDA.

În tabelul 4.7 se prezintă rezultatele numerice ale studiului energetico-economic comparativ pentru soluţiile de optimizare analizate,

Tabelul 4.7

Indicatorii economico-energetici ai soluţiilor de optimizare

Nr. crt.	Indicatorul	Soluţia			
		(a)	(b)	(c)	(d)
0	1	2	3	4	5
1	Investiţia suplimentară, ΔI [mil. lei]				
	– aducţii	-	5000	5000	-
	– rezervoare	-	630	2500	-
	– staţii de pompare	-	210	-	250
	Total	-	5840	7500	250
2	Înălţimea medie de pompare, H_p [m]				
	– statie de pompare exterioară	60	15	49	40,5
	– staţii de pompare interioare	-	35	-	12
3	Energia consumată, W_e [MWh/an]				
	– staţie de pompare exterioară	25300	6600	21600	19600
	– staţii de pompare interioare	-	13400	-	3600
	Total	25300	20000	21600	23200
	La vârf	7300	2700	3400	5400
4	Cheltuieli de exploatare, C_W [mil. lei/an]				
	– diferenţă cost energie, ΔC_W	-	680	540	270
	– cote de amortizare, $p\Delta I$	-	110	150	5
	Diferenţă cheltuieli, $\Delta C_W - p\Delta I$	-	570	390	265
5	Timpul de recuperare, T_r [ani]	-	10	19	1
6	Economia de energie, ΔW_e [MWh/an]		5300	3700	2100
	[%]	-	21	15	8

Scanned with OKEN Scanner

obţinute în principal pe baza relaţiilor (4.65)...(4.77), considerând randamentul global al staţiilor de pompare $\eta = 0{,}75$ şi cota medie de amortizare, reparaţii şi întreţinere pentru elementele sistemului $p = 0{,}02$. Deşi eficienţa economică este la limită ($T_r = 10$ ani), distribuţia cu rezervoare subterane zonale subterane are avantajul important al reducerii consumului energetic cu 5 300 MWh/an, din care 4 600 MWh/an în orele de vârf.

Soluţia de repompare cu staţii intermediare necesită cele mai mici investiţii suplimentare, însă conduce la un consum mic de energie numai în ipoteza alimentării conductelor de serviciu din zona de mare presiune din avalul staţiilor de pompare integrate. Dacă această condiţie nu este realizabilă din motive de ordin constructiv, linia de presiune trebuie ridicată cu 9 m pentru a se asigura presiunea de serviciu, astfel încât consumul de energie creşte, iar soluţia îşi pierde eficienţa energetică, care este oricum mai mică decât cea a soluţiei cu rezervoare subterane.

În această concepţie se consideră ca soluţie optimă varianta (*b*), cu cea mai mare economie de energie, de 21 % în raport cu consumul energetic în reţeaua referenţială nezonată şi cu timpul de recuperare diferenţial acceptabil de 10 ani.

Introducerea în sistemul de distribuţie a unor rezervoare zonale cuplate cu staţii de pompare interioare şi integrarea pe unele artere a staţiilor de pompare intermediare asigură o uniformizare şi o mai mare stabilitate a liniilor de presiune, cu efecte energetico-economice favorabile.

4.6. OPTIMIZAREA CONDIŢIILOR ENERGETICE ALE DISTRIBUŢIEI APEI CALDE ÎN SISTEM

4.6.1. GENERALITĂŢI

Sistemele centralizate de distribuţie a apei trebuie să asigure atât apa rece, pentru acoperirea întregului necesar al centrului urban, cât şi apa caldă, pregătită în centrale termoelectrice, centrale termice şi puncte termice.

Creşterea continuă a necesarului de apă în localităţi şi industrie a condus la sporirea ponderii apei calde la 30...40 % din necesarul zilnic, iar debitul de apă prelevat din reţea de către punctele şi centralele termice în orele de pregătire şi distribuire a apei calde reprezintă 55...65 % din debitul maxim orar, astfel încât parametrii distribuţiei apei calde influenţează puternic bilanţul energetic al acestui proces complex.

La nivelul actual de dotare, în majoritatea centrelor urbane, se menţine concepţia amenajării în centrale şi puncte termice a rezervoarelor tampon deschise, în care se pierde presiunea apei, urmată de repomparea cu presiune mare a apei calde menajere cu ajutorul

Scanned with OKEN Scanner

hidrofoarelor. Acest procedeu conduce la o pierdere mare de energie investită la pomparea apei în sistemul de distribuţie, impunându-se adoptarea unei concepţii noi, care să permită optimizarea energetică a distribuţiei apei calde în sistem.

În acest sens, se efectuează analiza energetică comparativă a unei soluţii de optimizare prin zonarea distribuţiei apei reci şi calde în ansamblurile de clădiri cu procedeul uzual, punându-se în evidenţă eficienţa acesteia.

4.6.2. EVALUAREA CONSUMULUI DE ENERGIE PENTRU PROCESUL COMPLET AL DISTRIBUŢIEI APEI LA UTILIZATORI

Considerând procesul complet al distribuţiei până la nivelul instalaţiilor din ansamlurile de clădiri, energia consumată pentru pomparea apei la utilizatori depinde în mare măsură de procedeul distribuţiei în instalaţiile interioare.

O primă componentă a consumului energetic se realizează la instalaţiile de pompare ale treaptei a II-a a sistemului, iar o altă componentă a acestuia se înregistrează la utilizatorii de apă.

La procedeul uzual de recepţie a apei în rezervoare tampon, cu nivel liber, este necesară o putere mai mare a staţiilor de pompare interioare pentru etajele superioare, respectiv mai redusă pentru etajele inferioare (până la P+4E), atât pentru apa rece, cât şi pentru apa caldă de consum menajer.

Pentru a asigura o valoare minimă a energiei specifice de pompare într-un anumit domeniu de variaţie a debitului, potrivit relaţiei (4.15), este necesar ca:

– să se folosească pompe de mare randament, iar domeniul de funcţionare a acestora să se plaseze în apropierea optimului energiei specifice;

– să se micşoreze înălţimea de pompare H_p a reţelei de distribuţie a apei în interiorul ansamblurilor de clădiri, prin recuperarea presiunii disponibile H_d din reţeaua publică de alimentare; în acest sens se recomandă folosirea distribuţiei directe a apei la utilizatorii care nu mai necesită pomparea, cazul etajelor inferioare, iar pompele pentru asigurarea presiunii la etajele superioare funcţionează numai la diferenţa de sarcină pentru presiunea locală. La o asemenea situaţie se poate ajunge prin prevederea unor staţii de hidrofor echipate cu rezervoare tampon închise. În cazul în care pompele staţiei de hidrofor aspiră apa din reţeaua exterioară de alimentare prin intermediul rezervoarelor închise, în relaţia (4.15) în loc de H_p se introduce $(H_p - H_d)$, iar în consecinţă această relaţie devine:

$$w_{ph} = 0{,}00272 \frac{H_p - H_d}{\eta_h} \qquad (4.78)$$

în care η_h este randamentul mediu al pompelor staţiei de hidrofor.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se pune în evidenţă economia de energie electrică, care s-ar realiza prin utilizarea acestui procedeu, se face raportul dintre energiile specifice corespunzătoare în ipotezele că pompele staţiei de hidrofor aspiră din reţeaua de alimentare prin intermediul rezervorului tampon închis (w_{ph}) şi respectiv deschis (w_p):

$$\frac{w_{ph}}{w_p} = \frac{\eta\left(H_p - H_d\right)}{\eta_h H_p}. \qquad (4.79)$$

Dacă se consideră $\eta_h = 0{,}8$, se obţine expresia economiei de energie ΔW_e, în %, sub forma:

$$\Delta W_e = 100\left(1 - \frac{w_{ph}}{w_p}\right) = 25\left(5\frac{H_d}{H_p} - 1\right), \qquad (4.80)$$

pe baza căreia s-a reprezentat în figura 4.31 graficul de variaţie $\Delta W_e = f(H_d/H_p)$, de unde rezultă că raportul presiunilor H_d/H_p trebuie să aibă o valoare minimă mai mare decât 0,2 pentru a putea economisi energie de pompare folosind rezervoare închise.

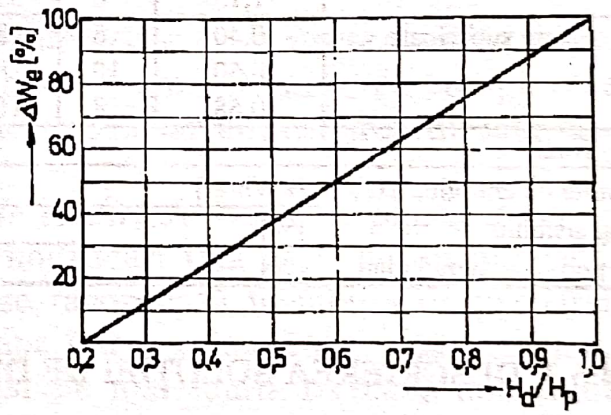


Fig. 4.31 – Graficul de variaţie $\Delta W_e = f(H_d/H_p)$.

Cunoscând, spre exemplu, că $H_p = 55$ m şi $H_d = 25$ m rezultă că s-ar realiza o economie de energie electrică de 32 % prin recuperarea presiunii disponibile din reţeaua publică de alimentare.

În tabelul 4.8 se calculează consumul de energie electrică pentru distribuţia debitului mediu orar egal cu unitatea (1 m^3/s) în cazul celor două procedee menţionate. Se constată că la utilizatori consumul energetic pentru pomparea apei este de acelaşi ordin de mărime ca şi la staţia de pompare a sistemului centralizat. În cazul soluţiei de distribuţie cu rezervoare tampon deschise consumul total de energie electrică este de 29 060 kWh/zi, revenind 0,336 kWh/m^3, iar la soluţia distribuţiei directe şi rezervoare tampon închise consumul energetic scade la 19 540 kWh/zi, revenind numai 0,226 kW/m^3, şi deci economisindu-se 9 520 kWh/zi, ceea ce pe ansamblu reprezintă 33 %, în timp ce numai staţiile de pompare ale ansamblurilor de clădiri reprezintă 67 %.

Tabelul 4.8
Determinarea consumului de energie electrică la distribuţia apei

Nr. crt.	Soluţia	Debitul pompat Q_p [m³/s]	Nr. ore	Volum zilnic V [m³]	Înălţ. pomp. H_p [m]	Puterea absorb. P [kW]	Energia consumată W_e [kWh/zi]
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Distribuţie cu rezervoare tampon deschise						
	- sistem centralizat	0,80	6	17200	45	505	14920
		1,00	10	36000	48	673	
		1,15	8	33200	40	645	
	- etaje inferioare	0,40	6	8600	30	168	14140
		0,50	10	18000	35	245	
		0,58	8	16600	30	244	
	- etaje superioare	0,40	6	8600	50	280	
		0,50	10	18000	55	385	
		0,57	8	16600	50	400	
	Total						29060
2	Distribuţie directă şi rezervoare tampon închise						
	- sistem centralizat	0,80	6	17200	45	505	14920
		1,00	10	36000	48	673	
		1,15	8	33200	40	645	
	- etaje superioare	0,40	6	8600	25	140	4620
		0,50	10	18000	30	210	
		0,58	8	16600	25	210	
	Total						19540
Economia de energie, ΔW_e		[kWh/zi]			9520		
- întreg sistemul		[%]			33		
-staţii pomp. ansambl clăd.		[%]			67		

4.6.3. DESCRIEREA SOLUŢIEI DE DISTRIBUŢIE OPTIMIZATĂ

Calculele energetice efectuate în condiţii medii de distribuţie confirmă oportunitatea amenajării optimizate a instalaţiilor ansamblurilor de clădiri cu alimentarea directă pentru etajele inferioare, utilizând energia de presiune din sistemul centralizat de distribuţie a apei şi amplasarea în serie a unor staţii de pompare cu recipiente hidropneumatice pentru alimentarea etajelor superioare. În figura 4.32 se prezintă schema de principiu a acestei soluţii.

Interconectarea instalaţiilor potenţiale interioare depinde de modul de preparare a apei calde menajere şi de înzestrarea reţelelor de serviciu ale sistemului la locul amenajării:

- *în zone dotate cu reţele de termoficare*, de la conducta de serviciu cu apă rece (R) se racordează un punct de distribuţie cu alimentare directă a etajelor inferioare, şi printr-o staţie de hidrofor (P_1,H), cu rezervor tampon închis, se ridică presiunea în coloanele de distribuţie a etajelor superioare.

Scanned with OKEN Scanner

În sistemele de distribuție cu castele de apă se recomandă să se prevadă și o linie directă de alimentare a etajelor superioare de la presiunea rețelei publice, deoarece un număr de 10...14 ore/zi, în perioadele de umplere, presiunea în rețea este suficient de ridicată pentru a alimenta direct aceste etaje. De la conducta cu apă caldă (C) din zonă se racordează similar rețeaua interioară de apă caldă, cu pompă de circulație (P_2) pentru etajele superioare;

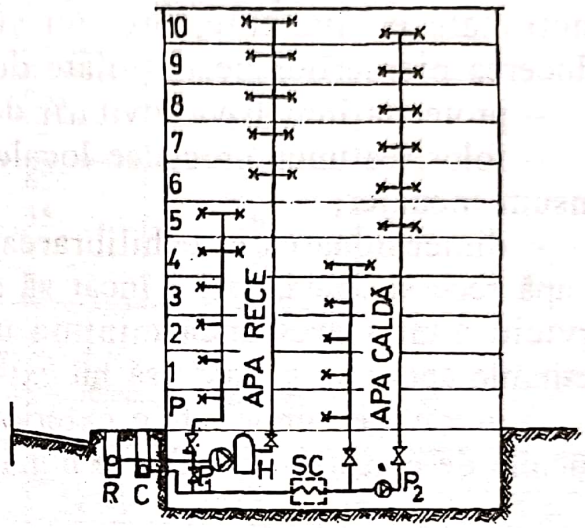


Fig. 4.32 – Schema de principiu a distribuției optimizate.

• *la ansamblurile de clădiri deservite de centrale termice* se aplică o schemă similară a instalațiilor interioare. Alimentarea cu apă rece se asigură direct până la nivelurile P+5E, iar alimentarea directă cu apă caldă până la nivelurile P+4E;

• *în cazul ansamblurilor de clădiri deservite de puncte termice,* la rețeaua de apă caldă intervin modificări față de situațiile precedente. De la branșament (fig. 4.32) se racordează instalația de preparare a apei calde (SC), care livrează apa într-o coloană de mică presiune, iar agregatele de pompare de presiune mai înaltă livrează apa caldă în coloana de alimentare a etajelor superiore.

4.7. SOLUȚII PENTRU REDUCEREA CONSUMULUI DE ENERGIE ÎN INSTALAȚIILE TEHNICO-SANITARE DIN INTERIORUL CLĂDIRILOR DE LOCUIT

Din punct de vedere energetic instalațiile tehnico-sanitare intervin în bilanțul global atât în mod direct, prin necesarul de energie termică pentru prepararea apei calde de consum, cât și indirect prin energia necesară pompării, care este determinată de mărimea și simultaneitatea consumurilor de apă, precum și de valoarea pierderilor de presiune prin frecare.

Un aspect colateral îl reprezintă pierderile necontrolate de apă din instalațiile de utilizare.

Scanned with OKEN Scanner

Soluţiile pentru reducerea consumului de energie în cadrul acestei categorii de instalaţii trebuie să aibă în vedere următoarele posibilităţi:

– raţionalizarea consumurilor prin revizuirea normelor specifice şi a parametrilor calitativi în raport cu natura folosinţei, precum şi prin contorizarea acestora la utilizatori;

– perfecţionarea armăturilor obiectelor sanitare în scopul diminuării debitelor specifice şi a pierderilor locale de sarcină, în condiţii funcţionale echivalente, precum şi pentru creşterea fiabilităţii şi reducerea pierderilor necontrolate de apă;

– protecţia împotriva loviturii de berbec a instalaţiilor interioare;

– folosirea unor procedee locale pentru prepararea apei calde de consum menajer;

– dimensionarea şi echilibrarea hidraulică a reţelelor interioare de apă rece şi caldă, astfel încât să se asigure la fiecare armătură de serviciu numai presiunea minimă necesară (recomandabil ca între presiunile apei reci şi calde să nu existe nici o diferenţă);

– executarea unor reţele exterioare de distribuţie a apei calde la punctele de consum cu o foarte bună termoizolaţie.

4.7.1. RAŢIONALIZAREA CONSUMURILOR DE APĂ

În condiţii energetice restrictive prezintă interes adoptarea unor norme specifice de consum pentru satisfacerea nevoilor igienico-sanitare şi gospodăreşti cât mai apropiate de valorile reale, înregistrate în funcţie de gradul de dotare.

Comparativ cu normele de consum din alte ţări, necesarul specific de apă caldă la temperatura de 60 °C prevăzut prin stasul 1478 este de peste două ori mai mare.

Astfel, în literatura tehnică franceză se precizează diferenţiat pentru diferitele obiecte sanitare temperaturile de utilizare şi debitele specifice de apă caldă (tabelul 4.9). De asemenea, în tabelul 4.10 sunt prezentate valorile necesarului de apă corespunzătoare diferitelor obiecte sanitare în raport cu structura apartamentelor şi pentru o temperatură echivalentă de 50 °C.

Aplicarea acestor norme pentru un apartament mediu convenţional, cu 3 camere, conduce la un consum specific de cca 60 dm^3/(om·zi) apă caldă (cu temperatura de 60 °C) faţă de consumul prevăzut în stasul 1478, de 110 dm^3/(om·zi). Valori similare, de ordinul a 40 dm^3/(om·zi), sunt folosite şi în Italia.

Aceste norme reflectă desigur şi gradul de perfecţionare a armăturilor utilizate, însă analiza datelor prezentate evidenţiază posibilitatea unor importante economii de energie prin reducerea normelor globale de consum.

Scanned with OKEN Scanner

În acelaşi scop se apreciază ca oportună diferenţierea temperaturilor de livrare în raport cu natura folosinţei, la valori de: 35...40 °C – pentru nevoi igienico-sanitare; 55...60 °C – pentru spălat manual; 65...70 °C – pentru spălat mecanic.

Tabelul 4.9
Temperaturile de utilizare şi debitele specifice de apă caldă ale obiectelor sanitare

Nr. crt.	Obiect sanitar	Temperatură [°C]	Debit specific [dm³/zi]
0	1	2	3
1	Spălător	65	30
2	Lavoar	35	10
3	Duş	42	45
4	Bideu	40	5

Tabelul 4.10
Necesarul zilnic de apă caldă al obiectelor sanitare, în dm³/zi

Nr. crt.	Obiect sanitar	Nr. camere/Nr. persoane				
		1/(1-2)	2/(2-3)	3/(3-5)	4/(4-7)	5/(5-9)
0	1	2	3	4	5	6
1	Spălător	20	30	40	50	60
2	Lavoar	8	12	16	20	40
3	Duş	20	20	40	40	60
4	Bideu	5	5	5	10	10
5	Cadă baie	110	110	110	225	225
6	Maşină spălat rufe	50	50	70	90	120
7	Maşină spălat vase	16	24	40	50	65

Comparând energia necesară pentru prepararea volumului zilnic de apă caldă menajeră pentru un apartament mediu convenţional, deservit centralizat, în condiţiile prevederilor actuale ale standardului 1478 (110 dm³/(om·zi) la 60 °C) şi cu diferenţierea regimului de temperaturi (35 % la 60 °C şi 65 % la 45 °C), rezultă că numai prin reconsiderarea temperaturilor de livrare s-ar putea obţine o reducere a consumului de energie de cca 35 %, de la 23,4 kWh/ap la 17,3 kWh/ap.

Luând în calcul şi posibilitatea reconsiderării normelor de consum în sensul reducerii lor de la 110 dm³/(om·zi) până la 60 dm³/(om·zi), cât prevedea chiar ediţia mai veche, din 1958 a stasului 1478, consumul de energie scade de la 23,4 kWh/ap la 9,27 kWh/ap, indicând o economie potenţială de energie faţă de condiţiile actuale de până la 60 %, ceea ce nu este deloc de neglijat.

De asemenea, aplicarea unor măsuri de contorizare locală a consumului de apă caldă poate stimula interesul pentru economii suplimentare.

Scanned with OKEN Scanner

4.7.2. PERFECŢIONAREA ARMĂTURILOR OBIECTELOR SANITARE

Economia de apă şi implicit de energie în exploatarea instalaţiilor tehnico-sanitare se poate realiza prin perfecţionarea armăturilor şi echiparea obiectelor sanitare cu baterii amestecătoare cu reglaj fin şi cu garnituri de calitate superioară.

Ataşarea unor simple dispozitive perlatoare are ca efect diminuarea debitelor de apă cu 50...70 %, în condiţii de eficienţă de spălare echivalentă.

Se pot realiza noi armături pentru obiectele sanitare cu dimensiunea racordurilor mai mică de 1/2", cum ar fi de 3/8" sau 1/4", având în vedere că în multe ţări europene se produc baterii de amestec şi robinete pentru lavoare de 1/4". Studiind caracteristica funcţională presiune–debit specific a armăturilor de dimensiuni diferite (fig. 4.33) se constată că, la aceeaşi presiune de utilizare H_u, debitul specific de apă q_s scade cu micşorarea diametrului interior d_i al armăturii, făcând să se câştige un surplus de presiune în instalaţia interioară, care determină astfel ridicarea apei şi la punctele superioare deficitare ale clădirilor. Această soluţie se poate aplica imediat la noile clădiri, iar cu timpul se înlocuiesc şi armăturile de 1/2" existente o dată cu expirarea duratei lor de utilizare .

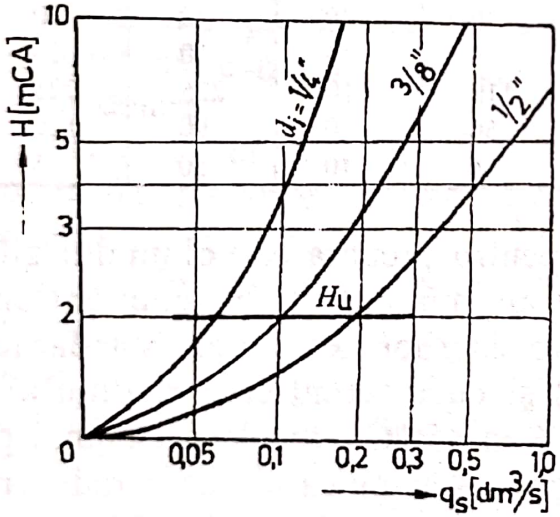


Fig. 4.33 – Caracteristica funcţională a unei armături la diametre diferite.

Realizarea armăturilor după alt standard conduce inevitabil la modificarea prevederilor stasului 1478 referitoare la noile debite specifice q_s.

Problema reducerii consumului inutil de apă poate fi soluţionată prin realizarea unor dispozitive pentru temporizarea curgerii, cu comandă hidraulică sau electronică.

Firma DELABIE produce *economizoare* cu temporizare hidraulică, care pot fi integrate în orice instalaţie. Dispozitivul funcţionează şi în regim de presiune redusă, asigurând o economie de apă de 50 % faţă de consumul normal. Timpul poate fi prestabilit în raport cu tipul obiectului sanitar deservit, variind între 7 şi 30 secunde.

Scanned with OKEN Scanner

Folosite pentru igiena individuală sau pentru hidromasaj, *duşurile* reprezintă o categorie de armături sanitare cu largă utilizare datorită eficienţei şi economicităţii lor. În acest domeniu asistăm la o amplă diversificare şi perfecţionare, producătorii oferind multiple variante: duşuri fixe sau detaşabile, cu înălţime şi orientare variabilă, cu temperatură şi intensitate selectivă. În mod corespunzător variază şi consumul de apă, în limite destul de largi. Astfel, pentru un duş Hansa Trijet debitul se modifică de la 6...7 dm^3/min pentru jetul de masaj, până la 15 dm^3/min pentru jetul împrăştiat, tip ploaie.

Indiferent de tip, cu monocomandă, cu afişaj digital, termostatate individual sau centralizat, *moderatoarele* sunt simple robinete capabile să ofere temperatura dorită, fără tatonări. Moderatoarele cu monocomandă dispun de un singur organ de acţionare, prin intermediul căruia se obţine atât reglarea temperaturii cât şi a debitului de apă, prin manevră orizontală, respectiv verticală. În cazul dispozitivului sunt prevăzute clapete de reţinere antiretur care împiedică intercomunicarea circuitelor de apă caldă şi rece. Moderatoarele termostatate conjugă siguranţa şi confortul cu economia de de apă şi de energie. Acestea evită modificările bruşte de temperatură la reducerea presiunii apei, eliminând riscul de opărire. Se menţionează firmele specializate HANSA, ROCA etc., care realizează moderatoare termostatate, într-o gamă variată de forme şi caracteristici pentru toate tipurile de obiecte sanitare.

O altă soluţie perfecţionată, considerată ca superlativă în domeniul armăturilor sanitare, ce conduce la economii de apă şi de energie de până la 80 % faţă de armăturile tradiţionale, ar fi utilizarea unor robinete electronice, prevăzute cu sisteme de perceptie optoelectronică sau ultrasonică, care debitează numai în prezenţa utilizatorului în câmpul de acţiune al detectoarelor. Astfel, *teletron* este un robinet inteligent, selectiv, care distinge radiaţiile emise de oricare alte radiaţii accidentale, iar *binoptic* este un moderator electronic pentru lavoare, cu celula fotoelectrică amplasată la extremitatea braţului.

La duşuri, piscine sau camere de baie robinetele ar putea în curând să dispară. Apăsând butoane de comandă se vor putea regla succesiv debitul, presiunea şi temperatura apei, în aşa fel încât să se obţină condiţiile optime cerute. Firma canadiană DIFFRACTO propune înlocuirea robinetelor cu vane pentru apa caldă şi rece şi comanda lor cu ajutorul unui microprocesor. Comenzile electrice nefiind admise, din motive de siguranţă, se va utiliza o pereche de fibre optice pentru fiecare buton.

Având în vedere importantele pierderi de apă ce se produc prin rezervoarele de spălare ale vaselor de closet, reprezentând 20 ... 40% din necesarul zilnic al unui apartament mediu convenţional, se impune ameliorarea funcţională a acestora şi folosirea unor rezervoare de spălare sub presiune [167], [245].

Scanned with OKEN Scanner

4.7.3. PROTECŢIA INSTALAŢIEI ÎMPOTRIVA LOVITURII DE BERBEC

În instalaţiile interioare de alimentare cu apă îşi fac apariţia din ce în ce mai frecvent loviturile de berbec, datorită fie tendinţei spre subdimensionare a conductelor din motive economice, fie existenţei a tot mai multor robinete cu sisteme de închidere degradate, dintre care unele de calitate necorespunzătoare, precum şi generalizării utilizării robinetelor cu închidere rapidă. Acestea sunt robinetele de amestec cu rotirea capului de reglare cu 1/4 sau 1/2 rotaţie, a căror manevrare, făcută în general printr-o manetă, permite o închidere bruscă. De asemenea, mai sunt şi robinetele de activare electromagnetică a maşinilor de spălat, precum şi sistemele de umplere automată a rezervoarelor, care se închid foarte repede pentru a evita zgomotul de strangulare la închidere.

Cea mai cunoscută consecinţă a loviturii de berbec este zgomotul sec care se produce la închiderea robinetelor, bateriilor, robinetelor de amestec etc. În timp, apare şi oboseala elementelor de etanşare şi a sudurilor, deteriorarea tuburilor flexibile, desprinderea colierelor şi a elementelor de rezemare a conductelor, îmbătrânirea prematură a cartuşelor cu plăcuţe ceramice ale bateriilor cu cap rotitor de 1/4 sau 1/2 rotaţie, ca şi a robinetelor de amestec.

Lovitura de berbec depinde de lungimea, diametrul şi debitul conductei. Se constată că aceasta este cu atât mai puternică, cu cât lungimea conductei este mai mare şi diametrul mai mic. De asemenea este mai puternică pe măsura creşterii debitului, la aceeaşi lungime şi diametru de conductă.

Materialul conductelor influenţează lovitura de berbec în mică măsură. Lovitura de berbec este cu puţin mai puternică în conductele din oţel decât în cele din cupru, însă inerţia mai mare a conductelor din oţel tinde să atenueze zgomotul. Tuburile flexibile armate au o influenţă favorabilă, în sensul diminuării zgomotului, însă nu diminuează presiunea loviturii şi deci nici efectele mecanice negative ale acesteia.

Pentru protecţia împotriva loviturii de berbec a instalaţiilor interioare este concepută în mod special *supapa Desbordes* de către firma cu acelaşi nume din Arad. Această supapă se montează cât mai aproape de sursa de zgomot, adică în apropierea robinetelor care întrerup debitul. Înserierea a două supape dublează capacitatea de amortizare. Cu toată micşorarea secţiunii de curgere, care este necesară creării efectului deprimogen, căderea de presiune este neglijabilă datorită profilului hidraulic adoptat. În cazul tipodimensiunii de 10/12 căderea de presiune este de 0,05 m, la dimensiunea 12/24 ea este de 0,12 m, iar la dimensiunea de 14/16 este de 0,18 m. Compatibilitatea supapei este bună cu orice fel de apă potabilă, rece sau caldă, cu temperaturi

Scanned with OKEN Scanner

până la 80°C. Supapa de protecţie este insensibilă la depuneri şi poate rezista la presiuni instantanee foarte mari. Nu se recomandă utilizarea la o presiune statică permanentă mai mare de 7 bar. Eficacitatea maximă se obţine la funcţionarea instalaţiei cu o presiune mai mică de 4 bar. Deasupra valorii de 4 bar instalaţia se protejează cu un reductor de presiune. În mod normal însă presiunea instalaţiei interioare nu trebuie să depăşească 3 bar.

4.7.4. PROMOVAREA PROCEDEELOR DE PREPARARE LOCALĂ A APEI CALDE DE CONSUM MENAJER

În directă corelare cu măsura de furnizare a apei calde la temperaturi reduse, în regim de bază 40°C, se impune adoptarea unor procedee de preparare locală, utilizând surse clasice sau neconvenţionale de energie pentru supraîncălzire la temperatura de consum.

Pornind de la premisele stabilite asupra normelor de consum şi temperaturii de livrare a apei calde, analiza a fost extinsă asupra oportunităţii unor procedee de preparare locală, care elimină dezavantajele sistemelor centralizate şi totodată conferă o mai mare autonomie a consumatorilor, condiţii favorabile pentru utilizarea raţională a tuturor resurselor energetice disponibile şi posibilitatea reducerii risipei de apă şi energie. Se prezintă, într-un cadru fundamentat energetic şi economic, unele procedee posibile pentru prepararea locală a apei calde de consum.

• *Prepararea locală colectivă la nivel de bloc sau de clădiri de locuit comune*. Instalaţia pentru prepararea locală colectivă a apei calde de consum la nivel de bloc sau tronson de bloc (fig. 4.34) utilizează schimbătoare de căldură de tip recuperativ alimentate cu agent primar (apă caldă 95/75 °C) din reţeaua termică care deserveşte blocul. Regimul de temperatură al apei calde, 10/45 °C, impune echiparea obiectelor sanitare cu încălzitoare electrice instantanee care să asigure supraîncălzirea, după caz, până la temperaturile cerute de folosinţă. Acest procedeu permite adoptarea insatalaţiilor solare

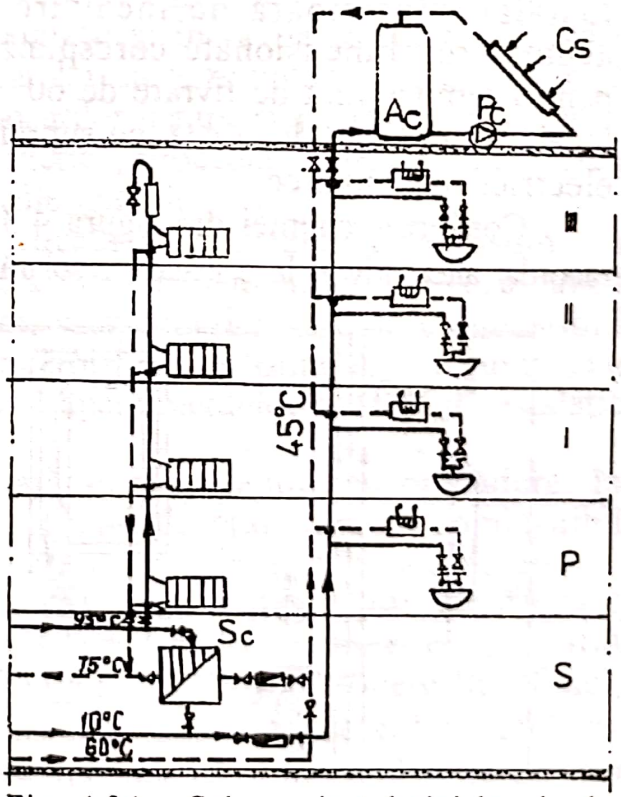


Fig. 4.34 – Schema instalaţiei locale de preparare a apei calde menajere la nivel de bloc.

Scanned with OKEN Scanner

pentru preparea apei calde, eliminând necesitatea funcţionării sursei clasice în sezonul cald. În perioadele de deficit solar, prepararea apei calde se asigură integral cu ajutorul aparatelor electrice. În cazul clădirilor racordate la sisteme de termoficare, la care este asigurată continuitatea funcţională în regim de vară, instalaţia solară poate să lipsească. Procedeul prezintă urmatoarele avantaje:

– elimină reţelele exterioare pentru distribuţia apei calde de consum;

– asigură alimentarea cu apă caldă în regim continuu, în perioada rece concomitent cu încălzirea, reducând valoarea debitelor simultane;

– realizează îmbunătăţirea gradului de utilizare a reţelelor termice exterioare prin extinderea perioadei de folosire a acestora pe întreaga durată a anului;

– facilitează economii de energie în exploatare prin cuplarea instalaţiei solare în sezonul cald şi supraîncălzirea apei la consumator, în directă dependenţă de cerinţele acestuia;

– permite contorizarea consumului de apă şi energie termică la utilizatori şi stabilirea corectă a ponderii cheltuielilor în raport direct cu consumul.

Ca dezavantaj se menţionează necesitatea unui număr mare de schimbătoare de căldură de capacităţi mici şi dispersarea punctelor de întreţinere şi exploatare corespunzător numărului de unităţi deservite.

Trebuie subliniat faptul că această variantă de realizare a instalaţiilor de preparare a apei calde poate fi adoptată cu un volum minim de intervenţii şi la clădirile existente.

• *Prepararea locală individuală centralizată la nivel de apartament.* Utilizând ca agent primar apa caldă la temperaturile 95/75 °C din instalaţia interioară de încălzire în schimbătoare de căldură cu acumulare, dimensionate corespunzător necesarului unui apartament pentru temperatura de livrare de 60 °C sau 45 °C, se asigură deservirea locală, direct sau, după caz, cu supraîncălzire finală folosind încălzitoare electrice instantanee.

Conform schemei din figura 4.35, schimbătorul de căldură poate fi racordat alternativ şi la o instalaţie solară sau electrosolară, capabilă să asigure

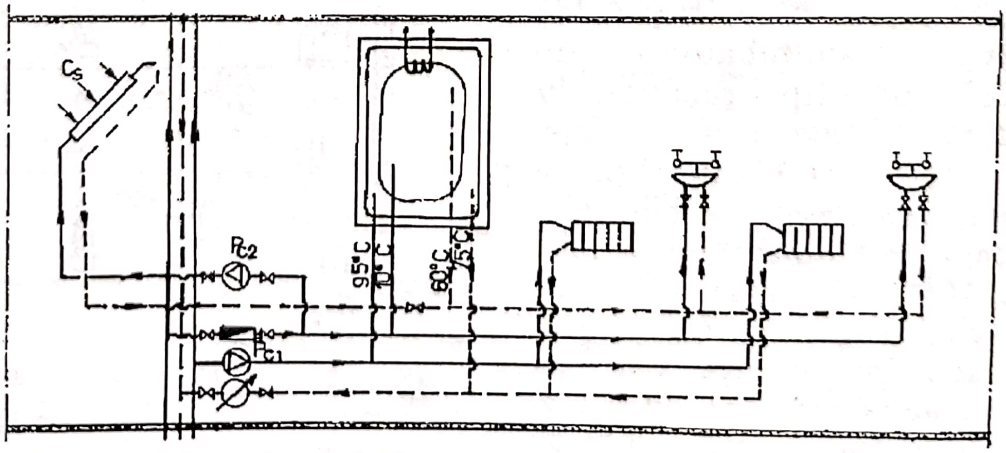


Fig. 4.35 – Schema instalaţiei locale de preparare a apei calde menajere în sistem individual centralizat.

prepararea apei calde de consum menajer în afara intervalului de încălzire. Procedeul se pretează în special pentru echiparea construcţiilor noi, fiind mai greu adaptabil pentru clădiri existente, dar nu exclus.

• *Prepararea locală individuală la nivel de apartament folosind energia electrică sau gazele naturale.* În funcţie de disponibilităţile energetice, prepararea locală a apei calde la nivel de apartament poate fi realizată utilizînd energia electrică sau gazele naturale. În cazul folosirii energiei electrice se poate aplica soluţia cu încălzitoare instantanee, adaptate la armăturile sanitare, sau cu boilere electrice, termoreglabile.

Dacă este posibilă utilizarea gazelor naturale, prepararea apei calde se poate face cu încălzitoare instantanee la bucătării şi cu cazane la băi. Varianta poate fi aplicată şi în soluţie mixtă de preparare, conform schemei din figura 4.36.

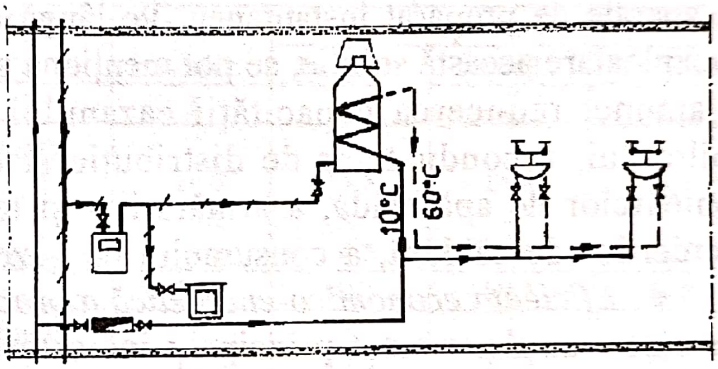


Fig. 4.36 – Schema instalaţiei locale de preparare a apei calde menajere la nivel de apartament.

Este indicată organizarea funcţională a locuinţei astfel încât punctele de consum de apă caldă să fie pe cât posibil grupate, în scopul reducerii lungimii traseelor de instalaţii şi în favoarea unor rezolvări estetice. În cazul utilizării încălzitoarelor cu gaze naturale, apare în mod suplimentar necesitatea prevederii coşurilor pentru evacuarea gazelor arse.

În raport cu posibilităţile energetice, procedeul poate fi aplicat, cu intervenţii minime, şi la construcţiile actuale.

• *Recomandări:* Prepararea locală a apei calde de consum, cu ajutorul unui cazan folosit şi pentru încălzirea locuinţei, se recomandă la locuinţe individuale relativ mici, care funcţionează cu combustibili gazoşi sau lichizi având funcţionare automată, inclusiv cu termoregulatoare, precum şi în cazul apartamentelor dotate cu instalaţie proprie de încălzire.

Soluţia cu instalaţie combinată se recomandă, cu precădere, în cazul instalaţiilor echipate cu cazane care funcţionează cu combustibil solid sau lichid şi care nu sunt dotate cu instalaţii automate de ardere. În aceste cazuri este necesară completarea instalaţiei din fiecare apartament, fie cu un boiler electric, fie cu un aparat de preparat instantaneu apa caldă (electric, gaze naturale, gaze petroliere lichefiate), care, de regulă, sunt echipate cu instalaţii automate de ardere, inclusiv cu termoregulator. Aceeaşi soluţie se recomandă şi în cazul în care sursa de apă caldă funcţionează cu intermitenţă.

Scanned with OKEN Scanner

Boilerele electrice pot fi folosite în toate cazurile, dar, în mod special, în situaţia în care există un regim avantajos de plată a energiei electrice pe timp de noapte.

Prepararea instantanee a apei calde de consum cu aparate electrice reclamă existenţa unei instalaţii electrice dimensionată în mod corespunzător (pentru 1,9...6 kW).

Instalaţiile combinate reprezintă avantajul că în perioada rece a anului, când apa caldă de consum se prepară central, aparatele de preparare locală a apei calde pot completa necesarul de apă caldă la consum mare sau îl pot asigura în caz de avarie la sursa centrală.

În cazul folosirii gazelor naturale, pentru încălzirea clădirii, se recomandă ca prepararea apei calde de consum să se facă numai local, cu aparate de preparat instantaneu. Pe lângă avantajele pe care le oferă în exploatare această soluţie, se pot menţiona şi cele de natură economică şi anume: reducerea capacităţii cazanului de încălzire, eliminarea boilerului, a conductelor de distribuţie şi circulaţie a apei calde, a contoarelor de apă caldă, a armăturilor şi termoizolaţiilor aferente, a pierderilor de căldură, a consumului de gaze naturale etc.

- *Eficienţa economico-energetică a procedeelor.* Pentru procedeele descrise s-au determinat principalii indicatori tehnico-economici şi s-a întocmit bilanţul energetic comparativ cu procedeul clasic, luând în considerare atât energia înglobată în reţelele de transport cât şi energia de exploatare (pierderi de căldură, energie utilă, energie de pompare). Rezultatele calculului sunt prezentate sintetic în tabelele 4.11 şi 4.12.

Pentru comparaţie s-au luat în considerare consumurile aferente unei scări dintr-un bloc P+4E, cu 12 apartamente de 3 camere şi 4 apartamente de 4 camere, în ipoteza distribuţiei continue a agenţilor energetici, 155 zile/an pentru încălzire şi 365 zile/an pentru alimentarea cu apă rece şi caldă.

În procedeul clasic al preparării centralizate a apei calde de consum menajer s-a prevăzut, conform stasului 1478, un consum specific de apă caldă cu temperatura de 60 °C de 110 $dm^3/(om \cdot zi)$, iar pentru variantele alternative s-au aplicat parametrii modificaţi, cu diferenţierea temperaturii de livrare (pentru 65 % din necesar, apă caldă cu temperatura de 45 °C, iar pentru diferenţa de 35 %, cu temperatura de 60 °C).

Energia pentru pompare s-a calculat considerând suplimentarea corespunzătoare a debitelor fără modificarea diametrelor reţelelor de apă rece şi de termoficare, necesare în procedeul clasic.

Analiza comparativă evidenţiază eficienţa în ansamblu a procedeelor de preparare locală a apei calde de consum, care conduc atât la reducerea

Scanned with OKEN Scanner

consumului de energie primară, cât şi la diminuarea energiei de pompare în rețelele de distribuție.

Dezavantajul acestor procedee îl constituie investiția în aparate locale de preparat apă caldă şi în suplimentarea instalațiilor de deservire (instalația electrică sau cea de gaze naturale). Aceste dezavantaje sunt compensate însă de economiile realizate în instalațiile sanitare şi de încălzire şi, în special, de cheltuielile de exploatare.

Tabelul 4.11

Indicatorii tehnico–economici ai procedeelor de preparare a apei calde de consum menajer

Nr. crt.	Indicator specific	UM	Cantități necesare			
			Preparare centraliz.	Preparare locală		
				Proced.1	Proced.2	Proced.3
0	1	2	3	4	5	6
1	Consum de metal:	kg/m				
	– rețea termică		14,8	14,8	14,8	14,8
	– rețea distribuție a.c.		3,5	-	-	-
	– rețea distribuție a r		4,6	4,6	4,6	6,0
	Total		22,9	19,4	19,4	20,8
2	Consum izolație:	kg/m				
	– rețea termică		12,2	12,2	12,2	12,2
	– rețea distribuție a.c.		2,5	-	-	-
	– rețea distribuție a.r.		1,5	1,5	1,5	1,5
	Total		16,2	13,7	13,7	13,7
3	Energie înglobată:	kg cc/m				
	– rețea termică		31,6	31,6	31,6	31,6
	– rețea distribuție a.c.		7,5	-	-	-
	– rețea distribuție a.r.		9,7	9,7	9,7	9,7
	Total		48,8	41,3	41,3	41,3
4	Pierderi de căldură:	W/m				
	– rețea termică		90,2	85,6	90,2	90,2
	– rețea distribuție a.c.		25,2	-	-	-
	Total		115,4	85,6	90,2	90,2
5	Energie utilă pt. prepararea apei calde	kWh/an				
	– termică		$1,55.10^8$	$1,09.10^8$	$1,25.10^8$	-
	– solară		-	-	$0,46.10^8$	-
	– electrică		-	$0,16.10^8$	$0,16.10^8$	-
	– gaze naturale		-	-	-	1,1
	Total		$1,55.10^8$	$1,25.10^8$	$1,25.10^8$	1,1
6	Energie de pompare:	mm/m				
	– rețea termică		3,2	13,4	22,0	3,2
	– rețea distribuție a.c.		23,0	-	-	-
	– rețea distribuție a.r.		8,0	15,0	14,0	15,0
	Total		34,2	28,4	36,0	18,2

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.12
Bilanţul energetic al procedeelor de preparare locală a apei calde de consum menajer

Nr. crt.	Indicator energetic	Economie de energie, ΔW [kWh/an]		
		Procedeu 1	Procedeu 2	Procedeu 3
0	1	2	3	4
1	Energie înglobată în reţele de transport	21,1	21,1	21,1
2	Pierderi de căldură în reţele de transport	11544,9	-2730,3	907,3
3	Energie utilă:			
	– termică	12837,0	24943,7	12837,0
	– electrică	-13202,2	-13202,2	-
	– gaze naturale	-	-	-4859,5
	Total	-365,2	11741,5	7977,5
4	Energie de pompare	8,4	14,0	5,6
Total general		11209,2	9046,3	8911,5

4.7.5. RECIRCULAREA APEI CALDE DE CONSUM

Instalaţia de recirculare a apei calde de consum echivalează cu o importantă reducere a risipei de apă şi cu un grad de confort sporit.

Pentru ca instalaţia de recirculare a apei calde să fie însă eficientă este necesar ca la toate punctele de racordare la reţeaua de distribuţie să se realizeze temperatura minimă de utilizare la începutul perioadei de consum normal. Pentru a răspunde acestor cerinţe, instalaţia de recirculare trebuie să fie echilibrată hidraulic, iar funcţionarea sa, coroborată cu cea a instalaţiei de preparare a apei calde şi cu consumul de apă caldă.

Într-o instalaţie neechilibrată hidraulic, apa va circula pe câteva circuite (cele cu rezistenţă minimă), iar în rest va stagna, situaţie similară cu a unei instalaţii de distribuţie a apei calde fără instalaţie de recirculare.

Reglarea instalaţiei de recirculare se poate face fie prin proiectare, alegând diametrele conductelor de pe traseul de întoarcere la o valoare convenabilă şi prin completarea, eventual, cu elemente suplimentare (diafragme, regulatoare, armături de reglaj etc.), fie prin dotarea instalaţiei de alimentare cu apă caldă cu armături de reglaj proprii. Al doilea tip de reglaj fiind foarte greoi este nerecomandabil.

Folosirea instalaţiei de recirculare a apei calde, în perioada în care sursa de energie pentru prepararea apei calde nu furnizează căldura necesară, conduce la răcirea apei din acumulatoarele de apă caldă, putând să se ajungă în situaţia ca, în momentul începerii consumului, să nu mai existe apă caldă din cauza instalaţiei de recirculare. Utilizarea instalaţiei

Scanned with OKEN Scanner

de recirculare în perioada de consum este, de asemenea, nejustificată, având drept urmare un consum inutil de energie electrică. Pentru optimizare se recomandă automatizarea instalației de recirculare.

Pornirea pompei instalației de recirculare trebuie programată după intrarea în funcțiune a instalației de preparare a apei calde, dar înainte de începerea consumului, astfel încât întreaga rețea de distribuție a apei calde, până la punctul de racord la instalația de recirculare, să fie plină cu apă caldă la temperatura de utilizare. Pompa de recirculare trebuie să asigure debitul necesar și presiunea pentru acoperirea pierderilor de sarcină liniare și locale din sistem.

Instalațiile de recirculare a apei calde executate în țară au vizat atât clădirile individuale, dar în cea mai mare măsură, ansamblurile de clădiri, dându-se o atenție deosebită recirculării apei din rețelele exterioare de distribuție și uneori și rețelei principale de distribuție din interiorul clădirilor.

Astfel, în majoritatea ansamblurilor de clădiri, s-a prevăzut ca recircularea apei calde să se facă fie până la intrarea în fiecare clădire sau scară de bloc (fig. 4.37.*a*), fie până la baza fiecărei coloane din interiorul clădirii (fig. 4.37.*b*). Foarte rar s-au prevăzut instalații de recirculare pe verticală până la ultimul obiect sanitar (fig. 4.37.*c*). Pe fiecare ramificație a conductei de recirculare se prevede un robinet de închidere, amplasat, de obicei, lângă cel de pe conducta de distribuție a apei calde.

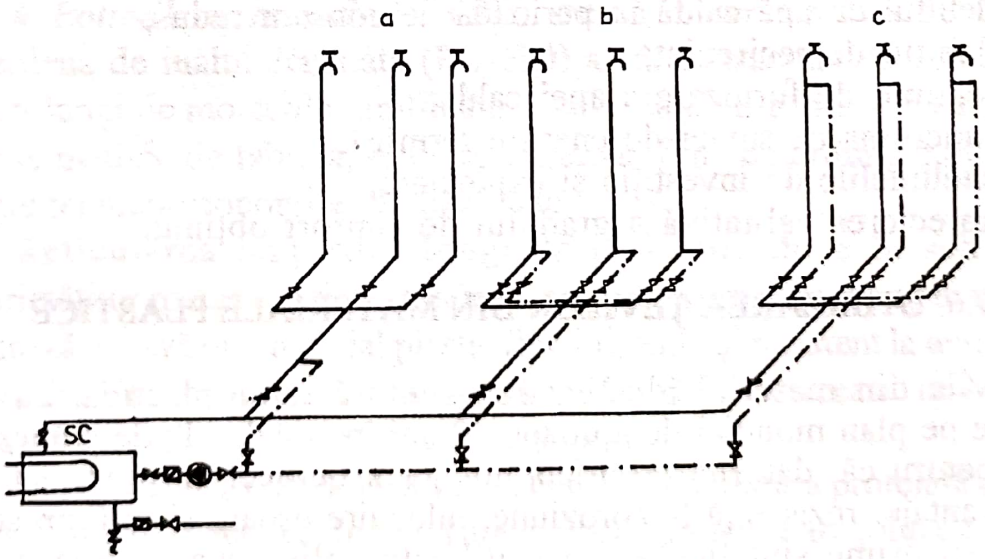


Fig. 4.37 – Schema instalației de recirculare a apei calde de consum.

Lipsa de confort și risipa de apă nu se datorează existenței sau neexistenței instalației de recirculare într-un ansamblu de locuințe, ci, în mare măsură, modului anarhic de furnizare a apei calde, precum și schemei

alese, care nu asigură circulaţia apei până la ultimul obiect sanitar. Prezintă interes extinderea pe verticală a conductei de recirculare întrucât, în unele situaţii, este posibilă folosirea forţei ascensionale pe perioada de oprire a pompei.

Instalaţia de recirculare a apei calde este justificată în cazul unor ansambluri de clădiri dacă apa caldă se furnizează după program şi dacă recircularea se face şi pe verticală. În acest caz instalaţia de recirculare va funcţiona numai înainte de a începe consumul de apă caldă şi în perioada când consumul minim este mai mic decât debitul circulat, evitându-se astfel risipa de apă.

Prevederea unei instalaţii de recirculare a apei calde este mai utilă la instalaţiile mici, din cadrul unei clădiri, decât pentru ansamblurile de clădiri. De menţionat este şi eficienţa sporită a instalaţiei de recirculare în cazul clădirilor mici, deoarece întreaga reţea de distribuţie, inclusiv coloanele, asigură apă caldă la temperatura de utilizare, deci confort maxim fără risipă de apă, în timp ce în cazul ansamblurilor, unde instalaţia de recirculare se realizează până la intrarea în bloc (scară), întreaga instalaţie interioară contribuie la inconfort, pierdere de apă şi de energie.

Pentru reducerea debitului recirculat şi implicit a cazurilor de dotare cu instalaţii de recirculare a apei calde, se vor folosi, la izolarea conductelor, numai materiale termoizolante cu eficienţă maximă (ex. conducte preizolate cu poliuretan rigid).

Decizia privind dotarea instalaţiei de alimentare cu apă caldă cu o instalaţie de recirculare este indicat să se ia pe baza unei analize având în vedere următorii factori:

- debitul de apă caldă în perioada de consum redus;
- debitul de recirculat;
- regimul de furnizare a apei calde;
- funcţionarea sursei de energie termică;
- cheltuielile de investiţie şi exploatare;
- aprecierea calitativă a gradului de confort obţinut.

4.7.6. UTILIZAREA ŢEVILOR DIN MATERIALE PLASTICE

Ţevile din material plastic, ca structură termoplastică, au fost introduse pe plan mondial de aproape 30 ani în instalaţiile de alimentare cu apă pentru că, datorită proprietăţilor lor specifice, au prezentat mai multe avantaje: rezistenţă la coroziune, înlocuire uşoară şi în timp scurt. Ca materii prime sintetice au fost utilizate polietilena dură şi moale (polietilena de înaltă, respectiv joasă densitate), ca şi policlorura de vinil (PVC).

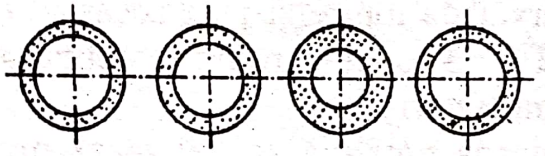
Aceste ţevi au fost dimensionate, conform normelor respective, pentru o temperatură de funcţionare de 20 °C şi un timp de funcţionare de 50 ani, pentru presiuni de 6, 10, respectiv 16 bar, la care este inclus şi un factor de siguranţă. Au fost experimentate în practică şi s-a confirmat rezistenţa lor în timp, rezistenţă determinată teoretic cu decenii în urmă.

Scanned with OKEN Scanner

A durat totuşi mult până când, la mijlocul anilor '70, ţevile din material plastic au fost utilizate şi la instalaţiile interioare. Era necesară, mai întâi, dezvoltarea şi testarea materialelor plastice din grupa duroplastelor, cu o stabilitate mai mare la temperaturi înalte, pentru a putea fi utilizate în condiţiile mai dure ce se impun la instalaţiile sanitare (temperaturi mai ridicate şi presiuni până la 10 bar).

În prezent, stau la dispoziţie pentru instalaţiile interioare diferite materiale sintetice (fig. 4.38), în special din grupa poliolefinelor, apărând şi în ţara noastră unele firme care oferă astfel de materiale.

Material		PB	VPE	PPR	PVC-c
Grosime	[mm]	3,7	5,5	6,7	4,5
Diametru interior	[mm]	32,6	29,0	26,6	31,0



Viteza de curgere (Q = 2,0 l/s)	[m/s]	2,4	3,0	3,6	2,7
Pierderea de pres. (Q = 2,0 l/s)	[mbar/m]	18,4	32,5	49,5	23,5

Fig. 4.38 – Caracteristici ale unor ţevi din materiale plastice.

• *Polietilena reticulată* (VPE) are ca materie primă de fabricare polietilena de înaltă densitate (PE–HD) a cărei structură se compune din lanţuri lungi de molecule ramificate. Acest material poate fi reticulat după diferite metode de fabricaţie, fiecare metodă fiind determinată de anumite cerinţe tehnico-economice şi de calitate.

Reticularea lanţurilor lungi de molecule duce la schimbarea proprietăţilor materiei prime, aşa încât se poate vorbi de un nou material. Se formează o ţeavă din material plastic flexibil, solid şi rezistent la temperatură. Ţeava din VPE nu poate fi însă sudată sau lipită. Îmbinarea se realizează cu fitinguri speciale de strângere sau cu nipluri.

Varianta TC EUROFLEX are în exterior tubulatura protejată de un tub din polietilenă, sistem tub în tub. Tubulatura de protecţie are rolul de asigurare a protecţiei mecanice, reducere a pierderilor de căldură şi permite dilatarea liberă a tubului interior cu fluid. Tubulatura de protecţie se deosebeşte prin culoarea neagră, specifică instalaţiilor sanitare.

Gama de dimensiuni a ţevilor este14, 16, 20 mm, iar conductivitatea termică a acestora este de 0,35 W/(m·K).

Scanned with OKEN Scanner

Fitingurile folosite sunt din alamă cromată şi permit trecerea în instalaţie de la un tip de material existent (oţel sau cupru) la tuburi TC EUROFLEX. Îmbinarea se realizează prin presare la rece cu un inel de presare–etanşare.

• *Polibutena* (PB) este un material sintetic termoplastic, parţial cristalin. Se deosebeşte, însă, de alţi polimeri, mai ales prin faptul că apare în diferite forme cristaline, stabile şi metastabile.

Pentru prelucrarea PB, două din aceste forme cristaline prezintă interes: forma metastabilă II (tetragonală), care se formează la răcirea unei topituri PB, şi forma stabilă I (germeni hexagonali), care formează PB solidă la transformarea dintr-un stadiu de agregare solid în altul.

Polibutena posedă, de asemenea, o combinaţie neobişnuit de rezistentă la lovire, flexibilitate şi o mare rezistenţă la întindere şi fluaj, la abraziune şi tensiune. Aceasta poate fi sudată, spre deosebire de VPE.

• *Polipropilena* (PP) are, dintre poliolefinele utilizate la ţevi, cel mai ridicat interval de topire şi prin aceasta şi cea mai bună stabilitate la temperatură. Prin copolimerizare se obţine o îmbunătăţire a rezistenţei la lovire la temperaturi joase.

Pentru apa potabilă se utilizează preponderent PPR (Random–copolimerizat), ce are o mai mare flexibilitate, o bună comportare în timp şi bune proprietăţi de sudare. Rigiditatea permite, de asemenea, o montare convenţională.

La sistemul de tubulatură COPRAX, gama dimensiunilor produse este 16...90 mm, iar lungimea de livrare a ţevilor este de 4 m.

Conductivitatea termică a ţevilor COPRAX este de 0,24 W/(m·K), faţă de 42 W/(m·K) în cazul oţelului, şi de 320 W/(m·K) pentru cupru. Se poate spune că, în afară de pierderile reduse de căldură ale fluidului transportat, apare şi o drastică diminuare a efectului de condensare pe suprafaţa exterioară a ţevii. Ca atare COPRAX este recomandat la înlocuirea ţevilor metalice în situaţiile când sunt necesare performanţele anterioare.

Datorită structurii, foarte omogenă şi compactă, rugozitatea absolută a suprafeţei interioare a tubului este extrem de redusă (0,007 mm), rezultând o valoare scăzută a pierderilor de sarcină specifice. În figura 4.39 este dată diagrama pentru determinarea pierderilor de sarcină specifice R în conductele instalaţiilor sanitare din PPR, clasa de presiune Pn 20.

În paralel cu tubulatura acestui sistem, pentru realizarea traseelor, se produce şi o completă gamă de fitinguri, coturi, mufe, curbe de montaj, reducţii, teuri, robinete cu ventil etc.

Coeficienţii de rezistenţă locală ζ pentru racordurile COPRAX sunt: manşon – 0,25; reducţie de până la două dimensiuni – 0,55; reducţie de peste trei dimensiuni – 0,85; cot la 90° – 2,0; cot la 45° – 0,6; teu – (1,3...4,2); teu redus – (2,6...9,0); teu filetat – 0,8; racord cu filet exterior – 0,4; cot cu filet exterior – 2,2.

Scanned with OKEN Scanner

Îmbinarea ţevilor se poate face cu sudură prin polifuziune, respectiv cu elemente de îmbinare, realizându-se într-un timp mult inferior tipurilor clasice de materiale. Sudarea prin polifuziune la îmbinarea cu mufe, se face aducând simultan la temperatura de topire partea exterioară a capului tubului şi partea interioară a mufei, care apoi se introduc una în alta.

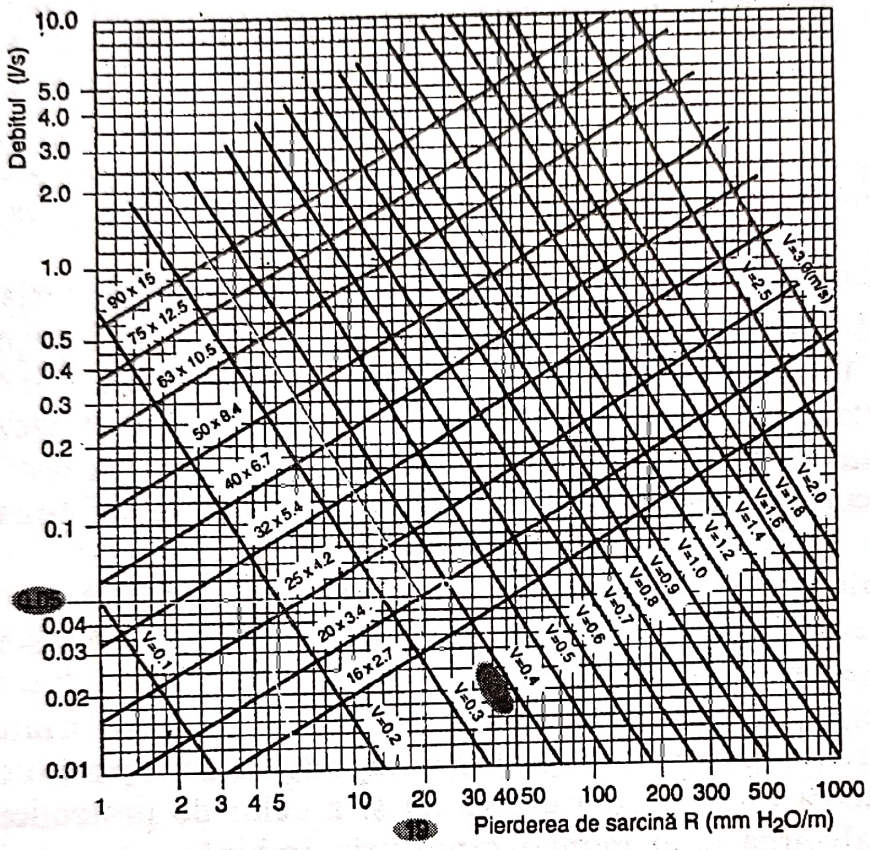


Fig. 4.39 – Diagrama pierderilor de sarcină la ţevile din PPR.

- *Policlorura de vinil clorurat* (PVC–c) este un alt material care, datorită adaosului de stabilizatori, poate acoperi un larg domeniu de utilizare. În raport cu alte materiale sintetice folosite la instalaţiile de apă potabilă, PVC–c are un modul de rezistenţă relativ înalt, care se menţine şi la temperaturi de utilizare mai mari.

Sistemul de tubulatură GLASTOFERAN are cel mai mic coeficient de dilatare termică α, comparativ cu celelalte materiale plastice (tabelul 4.13).

Tabelul 4.13

Coeficienţii de dilatare termică

Nr. crt.	Materialul	α [m/(m·K)]
0	1	2
1	PVC-c	70.10^{-6}
2	PVC	80.10^{-6}
3	PB	130.10^{-6}
4	PPR	150.10^{-6}
5	PVE	200.10^{-6}

Scanned with OKEN Scanner

Rugozitatea absolută a pereţilor interiori (tubulatură şi fitinguri) are o valoare aproximativă de 0,001 mm, mai mică faţă de cupru a cărui rugozitate absolută este 0,002...0,004 mm, ceea ce conduce la pierderi de sarcină specifice foarte reduse.

Dependenţa dintre grosimea pereţilor conductelor şi debitul de fluid este prezentată în comparaţie cu ţevi din PB, VPE şi PPR în figura 4.38.

Având o rezistenţă mai mare a materialului la acelaşi diametru exterior (40 mm), PVC–c are diametrul interior mai mare, deci permite trecerea unui debit mai mare de fluid decât ţevile din VPE şi PPR. La acelaşi debit vehiculat GLASTOFERANUL poate fi utilizat cu o dimensiune mai mică, rezultând astfel o economie substanţială în investiţia instalaţiilor.

GLASTOFERANUL face parte din categoria materialelor greu inflamabile, grupa de siguranţă la foc B1, nu arde şi nu întreţine arderea, putând fi folosit în instalaţiile de combatere şi stingere a incendiilor.

Montarea ţevilor se realizează prin lipire la rece cu adeziv, nefiind necesare investiţii suplimentare în scule şi dispozitive. Această tubulatură se pretează la montarea îngropată, în elementele de construcţie, şi aparentă.

Ţevile de legătură se compun dintr-o ţeavă interioară (din VPE), dintr-o ţeavă de aluminiu şi o cămaşă groasă din PE-HD. Acestea sunt uşor de îndoit ca şi ţevile din cupru.

Pentru prelucrarea şi montarea ţevilor din materiale plastice, firmele producătoare oferă scule şi dispozitive care permit:

– tăierea ţevilor propriu-zise cât şi a celor de protecţie;
– realizarea unui montaj rapid prin îmbinări cu înşurubare;
– eliminarea pieselor accesorii separate la legăturile prin înşurubare (inelul de strângere şi piuliţa olandeză fiind premontate în fitingurile respective);
– strângerea raţională a îmbinărilor înşurubate cu dispozitive speciale (cheie dinamometrică);
– lipitul şi sudarea legăturilor cu aparate de sudură de mână, care acoperă anumite domenii de diametre.

4.8. CONCLUZII

Din punct de vedere energetic reglajul pompelor în sistemele de distribuţie a apei prin vana de refulare este recomandabil numai pentru porţiunea din caracteristica pompei cuprinsă sub punctul optim corespunzător energiei specifice minime de pompare.

La staţiile de pompare existente ce se înscriu în condiţiile menţionate, reglajul prin vana de refulare reprezintă un procedeu simplu şi eficient de optimizare energetică. De aceea se impune ca firmele

Scanned with OKEN Scanner

constructoare să furnizeze în prospectele pompelor şi curbele de energie specifică pe 1 m^3 pompat.

Reglajul prin modificarea turaţiei este însă cel mai avantajos procedeu de optimizare funcţională din punct de vedere energetic, iar introducerea şi generalizarea sistemului de automatizare descris asigură corelarea debitului pompat cu consumul real de apă şi conduce la o economie de energie electrică de până la 30 %. Din acest motiv ar trebui ca prospectele pompelor de producţie internă să conţină şi indicaţii clare privind posibilităţile de funcţionare cu turaţie variabilă.

Deşi separarea reţelelor de distribuţie a apei pe zone de presiune este mai costisitoare ca investiţie, prin faptul că necesită mai multe staţii de pompare, rezervoare sau camere de rupere a presiunii, aceasta este mai economică în exploatare, prin reducerea consumului de energie cu 25...35 % faţă de cel corespunzător reţelelor nezonate. Indirect, prin exploatarea reţelelor la presiuni mai mici, se obţin economii apreciabile de pe urma lucrărilor de reparaţii şi întreţinere de volum mai mic. De asemenea, pierderile de apă în reţelele zonate sunt mai reduse, întrucât exploatarea conductelor şi mai ales a instalaţiilor interioare se face la presiuni scăzute.

Folosirea elementelor potenţiale interioare în reţeaua de distribuţie a apei creează condiţii mai bune de funcţionare pentru întregul sistem, înlocuieşte soluţiile costisitoare ale dublării arterelor sau ale majorării diametrelor la arterele magistrale şi conduce la micşorarea consumului de energie în sistem.

Studiile efectuate au confirmat caracteristicile energetico-economice favorabile ale procedeului amplasării optime a rezervoarelor subterane zonale în reţea, echipate cu staţii de pompare interioare, care conduce la micşorarea cu 20...30 % a consumului de energie electrică şi oferă posibilitatea dozării în trepte a clorului pentru dezinfectarea apei, acceptând o doză mai redusă la rezervoarele uzinale

La reţelele de distribuţie dotate cu castele de apă, în mod curent nu se obţine o reducere absolută a consumului de energie electrică, ci dimpotrivă poate avea loc o creştere a acestuia, însă costul energiei în ansamblu se micşorează, prin programarea unor pompări mai intense în afara orelor de vârf ale consumului energetic, atunci când tariful energiei este mai redus.

Procedeul integrării staţiilor de repompare intermediare are avantajul uniformizării presiunilor în cazul reţelelor extinse, evitând zone cu presiuni exagerat de mari. Apar în schimb unele zone de presiuni mai reduse, la nodul iniţial al arterei pe care se montează staţia de repompare, deficienţă ce se poate însă elimina complet prin racordarea conductelor de serviciu întotdeauna aval de pompă. Astfel, asigurarea presiunii de serviciu în reţea se realizează în condiţii energetice favorabile

Scanned with OKEN Scanner

dacă staţiile de pompare exterioare alimentează zonele joase, care în sistemul clasic au o presiune disponibilă mai mare, urmând ca zonele de pe terasa mai înaltă să fie alimentate prin staţii de repompare în serie.

Calculele energetico-economice efectuate au confirmat oportunitatea amenajării optimizate a instalaţiilor ansamblurilor de clădiri cu alimentarea directă pentru etajele inferioare, utilizând energia de pompare din reţeaua publică de distribuţie a sistemului centralizat, şi amplasarea în serie a unor staţii de ridicare a presiunii cu recipiente hidropneumatice pentru alimentarea etajelor superioare, soluţie ce conduce la o economie de energie electrică de 10...35 % pe ansamblul sistemului.

Soluţiile pentru reducerea consumului de energie în instalaţiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor trebuie să aibă în vedere raţionalizarea consumurilor de apă prin revizuirea normelor specifice, aplicarea unor măsuri de contorizare locală a consumului de apă caldă şi rece, folosirea unor procedee locale pentru prepararea apei calde de consum, perfecţionarea armăturilor sanitare în scopul micşorării debitelor specifice şi al reducerii pierderilor necontrolate de apă, protejarea împotriva loviturilor de berbec a instalaţiei interioare etc.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 5

PROBLEME SPECIALE ÎN EXPLOATAREA SISTEMELOR DE DISTRIBUŢIE A APEI

5.1. CONSIDERAŢII PRELIMINARE

Pierderile de apă în instalaţiile centralizate de alimentare a localităţilor pot apare la: captare, staţia de tratare, instalaţiile de pompare şi, mai cu seamă, în ansamblul reţelelor exterioare şi interioare de distribuţie a apei la utilizatori.

Conform normelor în vigoare se admite că pierderile de apă ar putea ajunge la 20 % în reţelele cu conducte vechi şi la 10 % în cazul reţelelor noi, însă, în majoritatea reţelelor de alimentare a marilor oraşe din ţara noastră, acestea depăşesc cifrele respective ajungând în numeroase cazuri la 30...40 %, cele mai mari valori constatându-se la ansamblurile de clădiri înalte.

Pierderile şi risipa de apă constituie pagube importante aduse gospodăriei comunale a localităţilor şi economiei industriilor, atât prin micşorarea cantităţii de apă distribuită util consumatorilor şi reducerea presiunilor disponibile în retea, ceea ce, pe lângă un consum însemnat de energie, conduce şi la un efort suplimentar de investiţie în instalaţiile de alimentare cu apă, cât şi prin apariţia eroziunilor subterane ce conduc la prăbuşirea terenului, cu efecte grave asupra construcţiilor şi clădirilor învecinate, impunându-se luarea de măsuri pentru ca aceste pierderi să scadă substanţial în următorii ani.

În acest context, se prezintă rezultatele unui studiu pe baza observaţiilor făcute pe instalaţii aflate în funcţiune şi a unor date din literatura tehnică sau furnizate de întreprinderi de exploatare şi de cercetare [256, 260, 264, 265] privind pierderile şi risipa de apă în sistemele de distribuţie ale marilor oraşe. El are ca obiective principale: analiza avariilor ce apar la conductele reţelelor exterioare, sistematizându-se cauzele acestora şi întocmindu-se o clasificare a lor în funcţie de natura materialului de confecţionare a conductelor; elaborarea unui model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate; analiza şi evaluarea mărimii pierderilor de apă în instalaţiile interioare destinate alimentării populaţiei; examinarea unor posibilităţi de micşorare a consumului de apă, care conduc la reducerea pierderilor şi risipei din sistemul de alimentare cu apă şi implicit la economisirea energiei electrice.

Scanned with OKEN Scanner

5.2. ANALIZA ŞI CLASIFICAREA AVARIILOR CE APAR LA CONDUCTELE REŢELELOR EXTERIOARE

Realizarea sistemelor de alimentare cu apă s-a făcut, cu mici excepţii, având în vedere orientarea greşită în ansamblu a economiei naţionale, în condiţiile unor fonduri destinate gospodăririi comunale mult sub nivelul cerinţelor acestui secol.

Se asistă astfel la o degradare a conductelor şi instalaţiilor şi la un procent ridicat al pierderilor de apă în instalaţii, în special la sistemele de distribuţie prin: neetanşeităţile îmbinărilor, rupturi, fisuri sau pori în cazul tuburilor, neetanşeităţi ale armăturilor, precum şi prin neeetanşeităţile instalaţiilor interioare ale consumatorilor, care conduc la mărirea consumurilor energetice în sistem.

Cauzele principale care produc avarierea reţelelor de distribuţie se pot grupa în:

– *greşeli de proiectare* (amplasarea conductelor în terenuri alunecătoare sau cu tasări importante, lipsa măsurilor împotriva agresivităţii solului şi a apei, lipsa dispozitivelor de eliminare a presiunilor maxime etc.);

– *execuţie necorespunzatoare* (alcătuire defectuoasă a îmbinărilor, rezemare incorectă a conductelor, defecte de fabricaţie, manoperă deficitară);

– *exploatare neraţională* (în timpul căreia se produc fenomene hidraulice, coroziuni şi uzură).

Primii ani de exploatare a reţelei (cca 1...2 ani) pun în evidenţă majoritatea deficienţelor de proiectare şi de execuţie a conductelor.

În continuare se efectuează o analiză a avariilor ce produc pierderi de apă în reţelele de transport şi distribuţie în primii ani de exploatare, sistematizându-se cauzele acestora şi întocmindu-se o clasificare a lor în funcţie de natura materialului de confecţionare a conductelor.

5.2.1. AVARII LA CONDUCTELE DIN FONTĂ DE PRESIUNE

Tuburile din fontă au capetele modelate pentru îmbinare cu mufă sau flanşe, primele folosindu-se la execuţia conductelor îngropate, iar cele cu flanşe, la realizarea conductelor montate aparent sau în canale vizitabile.

Îmbinarea tuburilor cu mufă se face prin etanşare cu frânghie îndesată pe 2/3 din adâncimea mufei, restul mufei fiind umplut cu plumb, pastă de azbociment şi mai rar cu ciment, întrucât îmbinarea devine prea rigidă.

Cele mai frecvente avarii ce apar la tuburile din fontă de presiune sunt:

• *Expulzarea umpluturii mufelor* se datorează în principal următoarelor cauze şi deficienţe:

a) lovituri hidraulice;

b) presiuni disponibile peste cele admisibile;

Scanned with OKEN Scanner

c) defecte de fabricaţie a mufelor şi de execuţie a îmbinărilor.

Se ştie că lovitura hidraulică (de berbec) este un fenomen care se produce în cazul mişcării nepermanente a apei în conducte şi apare în special la oprirea pompelor, pe conductele de refulare. În cazul unei opriri bruşte viteza apei scade de la viteza de regim la zero şi deci, la o viteză de regim de 1 m/s şi o valoare a vitezei de propagare a sunetului de cca 1 000 m/s, se obţine o variaţie a presiunii, potrivit formulei lui Jukovski, de aproximativ ±10 at, înţelegându-se că la asemenea presiuni suplimentare conductele din fontă şi în special îmbinările acestora nu pot rezista decât în mod excepţional.

Presiuni disponibile peste cele admisibile pot apare ca urmare a extinderii sistemului de distribuţie sau din cauza unor presiuni de exploatare mai mari decât cele stabilite prin calcul.

Defectele de fabricaţie a mufelor împiedică îmbinarea corectă a lor.

• *Fisurarea sau ruperea tuburilor*, poate fi provocată de numeroase cauze şi deficienţe:

a) rezemarea defectuoasă a tuburilor;

b) coroziunea;

c) defectele de fabricaţie a tuburilor;

d) suprapresiunile din loviturile hidraulice;

e) sarcinile mobile accidentale.

Rezemarea necorespunzătoare a conductelor provine din diferite situaţii: amplasarea conductelor pe terenuri alunecătoare; tasarea pământurilor macroporice prin înmuierea acestora datorită pierderilor de apă; nerectificarea corectă a fundului tranşeii în pământuri tari.

Toate aceste cauze măresc distanţa de rezemare, conducând la creşterea eforturilor efective în tuburi peste cele admise de materiale şi deci la fisurarea şi distrugerea tuburilor.

Coroziunea poate fi interioară, ca urmare a calităţii apei, sau exterioară, provocată de cantitatea şi calitatea apei din sol, de natura solului şi de alte cauze locale. Coroziunea exterioară este cea mai periculoasă, iar în determinarea ei un rol esenţial îl are umiditatea.

Defectele de fabricaţie constând din fisuri ascunse (pori, goluri) se accentuează cu ivirea altor cauze, cum ar fi loviturile hidraulice.

5.2.2. AVARII LA CONDUCTELE DIN OŢEL

Ţevile din oţel se uzinează de obicei cu capete drepte, iar îmbinarea acestora se face pe scară largă prin sudură, recomandându-se utilizarea sudurii electrice şi mai rar cu mufă ştemuită, ca la tuburile din fontă, sau cu flanşe.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se stabili tehnologia corespunzătoare sudurii unui tip oarecare de conductă trebuie determinate sudabilitatea conductei, calitatea electrozilor, procedeul de sudură şi probele necesare. S-au reamintit aceste elemente întrucât în multe cazuri nu se dă suficientă importanţă problemelor de sudură în timpul proiectării şi controlului execuţiei lucrărilor, din care cauză pot apare deficienţe în exploatare.

• *Fisurarea şi ruperea ţevilor* este principala avarie la conductele din oţel sudate, putându-se produce datorită unor cauze şi deficienţe ca:

a) stabilirea necorespunzătoare a procesului de sudare şi a electrozilor, care duce la tensiuni remanente mari din contracţia proprie a sudurii (până la 1 000...2 000 daN/cm^2);

b) tensiunile suplimentare datorate contracţiilor provocate de variaţia de temperatură a apei, la alimentarea cu apă de suprafaţă (500...600 daN/cm^2 la o variaţie de 25...30°C);

c) tensiunile rezultate din scăderea bruscă a temperaturii apei faţă de temperatura terenului înconjurător (cca 150...200 daN/cm^2);

d) tensiunile provocate de pozarea greşită a conductei în tranşee;

e) loviturile hidraulice.

O problemă specială ce trebuie luată în considerare la conductele din oţel sudate este variaţia temperaturii apei care circulă prin conductă, procedeul cel mai eficient pentru micşorarea tensiunilor provocate de aceste variaţii de temperatură fiind aşezarea şi acoperirea ţevilor la o temperatură cât mai scăzută.

5.2.3. AVARII LA CONDUCTELE DIN AZBOCIMENT

Îmbinarea cea mai frecvent utilizată la aceste conducte este cea cu manşon de azbociment şi garnituri de cauciuc, dar există şi posibilitatea îmbinării cu manşon şi flanşe metalice solidarizate cu buloane şi garnituri de cauciuc, denumite Gibault. În acest caz se constată două feluri principale de avarii:

• *Deranjarea îmbinărilor cap la cap*, care se produce din cauza montării incorecte a garniturilor de cauciuc.

• *Fisurarea şi ruperea tuburilor*, care se datorează următoarelor cauze şi deficienţe:

a) deranjarea îmbinărilor;

b) manipularea neatentă a tuburilor;

c) pregătirea necorespunzătoare a fundului tranşeei sau umplerea neatentă a acesteia;

d) agresivitatea faţă de cimenturi a unor ape subterane.

Scanned with OKEN Scanner

5.2.4. AVARII LA CONDUCTELE DIN BETON ARMAT PRECOMPRIMAT

Tuburile din beton armat precomprimat se execută de obicei prin centrifugare sau vibrovacumare cu un miez tubular de beton armat, precomprimat în sens transversal după întărire, prin înfăşurarea unei armături elicoidale care se protejează cu un strat de torcret din mortar de ciment.

Tuburile din beton armat precomprimat se fabrică cu mufă la unul din capete, iar la capătul drept tubul are un prag inelar care serveşte pentru fixarea garniturii de cauciuc.

Deşi cea mai mare parte a defecţiunilor ce apar la aceste tuburi pot fi depistate în fabrică, prin încercare la presiune hidraulică mai mare cu 3...4 bar decât presiunea maximă admisă, atât la execuţie cât şi în exploatare apar unele defecte, clasificate şi prezentate în continuare.

A) DEFECTE DE FABRICAŢIE

Defectele care pot apare la fabricaţia tuburilor din beton armat sunt:
– defecte de etanşeitate;
– defecte de aderenţă între torcret şi tubul-miez;
– abateri dimensionale nepermise la geometria capătului drept sau a mufei.

Primele două defecte pot să nu se evidenţieze la proba de etanşeitate a conductei, deoarece este ştiut că presiunile de probă sunt mai mici decât cele de verificare în fabrică, însă pot avea consecinţe ulterioare în timp.

Abaterile dimensionale nepermise la geometria capătului drept sau ale mufei se evidenţiază, în parte, la probarea conductei, deoarece ele conduc la insuficienta presare a garniturii inelare de cauciuc şi deci la expulzarea acesteia când presiunea creşte.

B) DEFECTE DATORATE MANIPULĂRII ŞI DEPOZITĂRII GREŞITE

Aceste defecte sunt următoarele:
– ştirbituri la capetele de îmbinare;
– desprinderi ale torcretului pe unele zone de pe suprafaţa tubului;
– micşorarea caracteristicilor de rezistenţă datorită unei păstrări îndelungate (peste 6 luni) sub acţiunea intemperiilor (expunere solară, umiditate redusă, cicluri repetate de îngheţ – dezgheţ).

Tuburile care prezintă ştirbituri la capetele de îmbinare sau zone de neaderenţă a torcretului nu trebuie montate, deoarece ele vor constitui în mod sigur o cauză de avarie pe conductele respective.

Efectele păstrării îndelungate a tuburilor sub acţiunea intemperiilor sunt multiple.

Scanned with OKEN Scanner

După cum este cunoscut, curgerea lentă a betonului precomprimat este condiţionată direct de gradul de umiditate a acestuia. Astfel, conform stasului 10107/0, valoarea maximă a caracteristicii deformaţiei în timp a betonului poate creşte cu 30 %, în cazul când tuburile sunt păstrate la o umiditate medie relativă de 40 %, în loc de 60 % cât se prevede în calcul. Această creştere a curgerii lente, conducând la mărirea pierderilor de tensiuni în armătură, atrage după sine scăderea rezistenţei tuburilor.

Tot datorită păstrării în timp îndelungat în condiţii necorespunzătoare se produce şi microfisurarea, atât transversală cât şi longitudinală, a torcretului care, după cum se cunoaşte, nu este precomprimat. Această microfisurare este cauzată de eforturile ce apar în pereţii tubului datorită diferenţei de temperatură dintre exterior şi interior, care este foarte mare, mai ales când tubul este expus razelor solare.

Pe de altă parte, o păstrare îndelungată în condiţii uscate conduce la efecte defavorabile privind însăşi etanşeitatea tubului–miez.

Chiar dacă o conductă cu asemenea defecte poate trece în mod acceptabil proba de presiune, durabilitatea ei rămâne afectată de transformările ireversibile produse în structura pereţilor, iar tuburile la care fisurările au fost mai puternice sunt potenţiale surse de avarii.

C) DEFICIENŢE CARE APAR LA MONTAREA TUBURILOR

Principalele deficienţe ce se pot întâlni la montarea tuburilor din beton armat sunt:

- amenajarea defectuoasă a patului de rezemare pe teren a tubului;
- neuniformitatea patului de rezemare în lungul tubului;
- poziţionarea incorectă a garniturii de cauciuc la îmbinare.

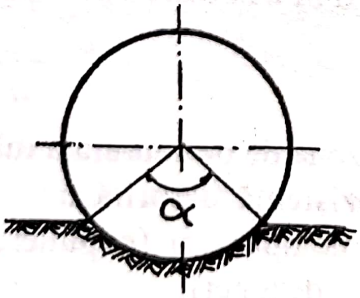


Fig. 5.1 – Amenajarea patului de nisip.

În actele normative se precizează că tubul trebuie să se reazeme pe un pat de nisip amenajat cu unghiul la centru α de 90° (fig. 5.1), condiţie care nu se respectă în toate cazurile şi, de multe ori, patul fie că nu este amenajat deloc, fie că este insuficient amenajat ca mărime şi continuitate a suprafeţei de rezemare.

Scanned with OKEN Scanner

În tabelul 5.1 se dau creşterile procentuale ale eforturilor de întindere din încovoiere sub acţiunea încărcărilor exterioare în funcţie de unghiul α, considerând ca bază de referinţă $\alpha = 90^o$.

Tabelul 5.1

Creşterile procentuale ale eforturilor de întindere din încovoiere la rezemarea tuburilor

Unghiul la centru, α [°]	0	30	60	90
Creşterea procent. [%]	80	45	18	0

Aceste sporuri de efort datorate modului defectuos de rezemare duc în cele mai multe cazuri la fisurarea tuburilor la partea inferioară, fisuri care, de regulă, nu se produc decât după efectuarea probei de presiune.

Dacă nu este realizat contactul intim între tub şi pat pe toată lungimea lui, tubul lucrează pe anumite porţiuni ca o grindă încărcată cu greutatea proprie, greutatea apei şi greutatea pământului de umplutură, astfel încât, în situaţiile extreme când solicitările reale depăşesc pe cele capabile, la partea inferioară apar fisuri transversale care se prelungesc pe cca. 1/3 din circumferinţa tubului. După cum se observă din figura 5.2 este necesar ca garnitura să fie situată în zona pragului profilat pe capătul drept cu o toleranţă de maximum 10 mm. Montajul se consideră corect dacă distanţele la capetele a două diametre perpendiculare respectă condiţiile:

a) 110 mm > x > 100 mm, indiferent de diametrul D al tubului;

b) 210–k > z > 200–k, pentru D < 800 mm;

y = 10 mm, pentru $D \geq$ 800 mm.

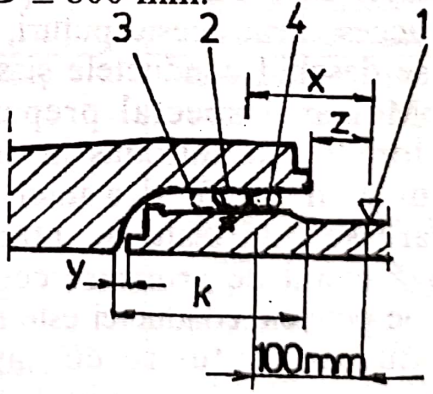


Fig. 5.2 – Condiţiile de montare a garniturii: 1–semn circular trasat în fabrică;2–garnitură în poziţie corectă; 3, 4–garnitură în poziţie incorectă.

O depăşire a pragului (poziţia 3) duce la creşterea presiunii pe care garnitura o exercită asupra mufei şi capătului drept şi deci la fisurarea mufei. Depărtarea prea mare de prag (poziţia 4) duce la o presiune insuficientă a garniturii şi la tendinţa împingerii acesteia către prag sub acţiunea presiunii interioare, având drept consecinţă neetanşeitatea îmbinării.

Cea mai mare parte a defecţiunilor menţionate anterior sunt surse de avarii, după cum urmează:

Scanned with OKEN Scanner

• *Expulzarea garniturii de cauciuc* este datorată unor cauze şi deficienţe ca:

a) suprapresiunile loviturilor hidraulice;

b) presiuni disponibile peste cele admise;

c) abateri dimensionale nepermise de la geometria capătului drept şi/sau a mufei.

• *Desprinderea torcretului şi pierderea parţială a etanşeităţii* conduce la exfiltraţii prin zona de desprinderi şi corodarea armăturii, datorându-se unor defecte de fabricaţie, de manipulare şi depozitare greşită.

• *Microfisurarea transversală şi longitudinală a torcretului* se datorează păstrării tuburilor timp îndelungat sub acţiunea intemperiilor.

• *Fisurarea şi ruperea tuburilor* se produc datorită unor cauze şi deficienţe ca:

a) amenajarea necorespunzătoare a patului de rezemare în sens transversal şi longitudinal;

b) depăşirea încărcărilor estimate la alegerea clasei tuburilor;

c) montarea tuburilor în soluri agresive fără luarea în considerare a măsurilor de protecţie;

d) poziţionarea incorectă a garniturii de etanşare.

Avarierea prin rupere a tuburilor de beton precomprimat se produce de obicei în zonele în care armătura de precomprimare este corodată, după linia celor mai pronunţate fisuri, şi poate fi însoţită sau nu de ruperea armăturilor.

Un procedeu economic şi optim, din punct de vedere al timpului de execuţie redus, al circulaţiei şi al protecţiei mediului înconjurător, pentru repararea conductelor avariate, este procedeul de aplicare a unui beton special în interiorul conductei.

Conducta de reparat este împărţită în tronsoane prin execuţia unor puţuri de acces. Prin aceste puţuri, situate la o distanţă de 120...180 m între ele, se deschid conductele şi se curăţă în interior până la învelişul exterior. Mortarul special preparat pe şantier într-un malaxor cu malaxare forţată este introdus în dispozitivul de căptuşit conducta prin intermediul unui furtun şi a unei pompe de înaltă presiune. Arborele tubular care se învîrteşte în interiorul dispozitivului de împrăştiere alimentează capul de aruncare centrifugă cu mortar. Stratul protector împroşcat pe peretele conductei este netezit ulterior cu un dispozitiv special.

Utilajul de căptuşire cu cap rotitor se dirijează prin centrul conductei, urmat de dispozitivul de netezire care este sub forma unui con din tablă. Mortarul aruncat pe pereteţii conductei este astfel netezit. Prin retragerea dispozitivului prin intermediul unui cablu de oţel se obţine grosimea necesară a stratului de căptuşire.

Procedeul descris se poate aplica la conducte cu diametre de 80 mm până la 500 mm, iar pentru conducte cu diametru mai mare de 600 mm firma TEWEGO din Germania a conceput un dispozitiv de căptuşire autopropulsor, de înalt randament, cu propulsie electrică.

Scanned with OKEN Scanner

Principalele avarii care apar la conductele reţelelor de distribuţie a apei sunt sistematizate şi prezentate sintetic în tabelul 5.2, împreună cu deficienţele şi cauzele care le generează.

Tabelul 5.2

Avarii ce apar la conductele reţelelor de distribuţie

Nr. crt.	Materialul conductei	Avaria	Cauze şi deficienţe
0	1	2	3
1	Fontă	Expulzarea umpluturii mufelor	– lovituri hidraulice – presiuni disponibile peste cele admise – defecte de fabricaţie a mufelor – defecte de execuţie a îmbinărilor
		Fisurarea şi ruperea tuburilor	– lovituri hidraulice – coroziunea materialului – rezemare defectuoasă a tuburilor – defecte de fabricaţie a tuburilor – sarcini mobile accidentale
2	Oţel	Fisurarea şi ruperea tuburilor	– lovituri hidraulice – pozarea greşită a conductelor – stabilirea necorespunzătoare a procesului de sudare şi a electrozilor – variaţia temperaturii apei – scăderea bruscă a temperaturii apei faţă de cea a solului
3	Azbociment	Deranjarea îmbinării	– montarea incorectă a garniturilor
		Fisurarea şi ruperea tuburilor	– deranjarea îmbinărilor – pregătirea necorespunzătoare a fundului tranşeei sau umplerea neatentă a acesteia – agresivitatea faţă de cimenturi a unor ape subterane
4	Beton armat precomprimat	Expulzarea garniturii de cauciuc	– lovituri hidraulice – presiuni disponibile peste cele admise – abateri dimensionale nepermise la geometria capătului drept sau a mufei
		Desprinderea torcretului	– defecte de fabricaţie – manipulare şi depozitare greşită
		Microfisurarea torcretului	– păstrarea tuburilor timp îndelungat sub actiunea intemperiilor
		Fisurarea şi ruperea tuburilor	– amenajarea necorespunzătoare a patului de rezemare în sens transversal şi longitudinal – depăşirea încărcărilor estimate la alegerea clasei tuburilor – montarea tuburilor în soluri agresive fără luarea măsurilor de protecţie – poziţionarea incorectă a garniturii

Scanned with OKEN Scanner

5.3. MODEL ANALITIC PENTRU DETERMINAREA MOMENTULUI OPTIM DE ÎNLOCUIRE A CONDUCTELOR AVARIATE

Soluţionarea problemei avarierii unei conducte în funcţiune poate fi efectuată pe două căi: reparare sau înlocuire, iar luarea unei decizii raţionale în acest sens implică o analiză economică de comparare a celor două alternative.

Se prezintă un model general pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate, care nu necesită cunoaşterea cauzei avariei ci numai estimarea evoluţiei avariilor în timp.

Caracteristica esenţială a modelului de calcul o reprezintă necesitatea estimării realiste a datelor viitoare de avariere şi se bazează pe următoarele elemente: numărul estimativ de avarii pe o conductă nouă ca funcţie de timp din momentul instalării acesteia; numărul estimativ de avarii pe o conductă existentă; cheltuielile necesare pentru repararea şi înlocuirea unei conducte existente cu alta nouă; stabilirea cheltuielilor viitoare la o valoare actualizată.

La înlocuirea unei porţiuni dintr-o conductă avariată cu alta nouă, noua conductă poate avea aceeaşi calitate ca şi cea veche, aşteptându-se de la ea acelaşi istoric al avariilor, sau poate avea o calitate superioară, adică să nu mai apară avarii. Un mod convenabil de măsurare a avariilor este exprimarea acestora în avarii pe an sau pe metru liniar de conductă.

Se consideră ecuaţia de evoluţie a avariilor de forma exponenţială:

$$F(t)=F(t_0)\mathrm{e}^{A(t-t_0)} \tag{5.1}$$

în care: t este timpul exprimat în ani; t_0 – timpul de bază al analizei; A – coeficientul de creştere a numărului de avarii; $F(t_0)$ – numărul de avarii pe an.

Cheltuielile de reparaţie pentru t ani sunt date de relaţia:

$$c_r = c_a F(t) \tag{5.2}$$

unde c_a reprezintă cheltuielile de reparaţie a unei avarii.

Valoarea actualizată a cheltuielilor pentru reparaţie C_r şi pentru înlocuirea conductei C_i se determină cu relaţiile:

$$C_r = \sum_{t=t_*}^{t_i} \frac{c_r}{(1+\beta_0)^{t-t_*}} \tag{5.3}$$

$$C_i = \sum_{t=t_*}^{t_i} \frac{c_i}{(1+\beta_0)^{t_i-t_*}} \tag{5.4}$$

în care: t_* este anul de referinţă; t_i – anul când conducta va fi înlocuită; β_0 – rata de inflaţie; c_i – costul înlocuirii conductei.

Momentul optim de înlocuire este acel an pentru care cheltuielile totale sunt minime:

$$C_T = \sum_{t=t_*}^{t_i} \frac{c_a F(t_0) e^{A(t-t_0)}}{(1+\beta_0)^{t-t_*}} + \frac{c_i}{(1+\beta_0)^{t_i-t_*}} \to \min, \tag{5.5}$$

Prin derivare în raport cu t_i, anulare şi rezolvare se obţine expresia timpului optim de înlocuire:

$$t_i^0 = t_0 + \frac{1}{A} \ln\left[\frac{\ln(1+\beta_0)c_i}{F(t_0)c_a}\right]. \tag{5.6}$$

Se observă că anul de bază t_0 utilizat în dezvoltarea ecuaţiei (5.1) nu influenţează asupra soluţiei optime.

Dacă pentru ecuaţia de evoluţie a avariilor se adoptă forma liniară:

$$F(t) = F(t_0)A(t-t_0), \tag{5.7}$$

atunci rezultă pentru momentul optim de înlocuire a conductei expresia:

$$t_i^0 = t_0 + \frac{\ln(1+\beta_0)c_i}{AF(t_0)c_a}. \tag{5.8}$$

Soluţiile optime astfel obţinute corespund cazului când conducta nouă nu mai poate fi avariată. De aceea se studiază şi situaţia când noua conductă poate fi atinsă de avarii, însă începând cu o valoare iniţială mai mică decât cea corespunzătoare coeficientului de creştere caracteristic conductei existente, întrucât altfel nu ar exista nici un motiv pentru înlocuire.

Se consideră că noua conductă este de acelaşi tip cu cea existentă şi după montare are acelaşi istoric al avariilor, iar numărul de avarii creşte după acelaşi coeficient ca în ecuaţia (5.1).

Conducta avariată aflată în funcţiune se înlocuieşte în anul t_i la un cost c_i, iar o dată instalată noua conductă va fi supusă avariilor şi se reînlocuieşte după t_c ani. Mărimea optimă a ciclului de înlocuire t_c^0 este dată de relaţia:

$$t_c^0 = \frac{1}{A} \ln\left[\frac{\ln(1+\beta_0)c_i}{F(t_0)c_a}\right]. \tag{5.9}$$

Este necesar să se definească pentru fiecare ciclu cheltuielile de reparaţie şi de înlocuire exprimate în valori raportate la începerea ciclului.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru mărimea optimă a ciclului t_c^0 acestea au respectiv expresiile:

$$C_R = \sum_{t=1}^{t_c^0} \frac{c_r}{(1+\beta_0)^t} = \frac{\left[(1+\beta_0)^{t_c^0} - 1\right] c_r}{\beta_0 (1+\beta_0)^{t_c^0}}, \tag{5.10}$$

$$C_i = \frac{c_i}{(1+\beta_0)^{t_c^0}}. \tag{5.11}$$

Pentru explicitarea cheltuielilor totale $C_T = C_R + C_i$ se obţine relaţia finală:

$$C_T = \sum_{t=t_*}^{t_i} \frac{c_a F(t_0) e^{A(t-t_0)}}{(1+\beta_0)^{t-t_*}} + \frac{(C_R + c_i)B + c_i}{(1+\beta_0)^{t_i - t_*}} \tag{5.12}$$

unde:

$$B = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(1+\beta_0)^{nt_c^0}} = \frac{1}{(1+\beta_0)^{t_c^0 - 1}}. \tag{5.13}$$

Minimizând cheltuielile totale se obţine, în urma efectuării calculelor, pentru momentul optim de înlocuire o expresie similară cu (5.6):

$$t_i^0 = t_0 + \frac{1}{A} \ln \left[\frac{\ln(1+\beta_0)(C_R + c_i)B + c_i}{F(t_0) c_a} \right] \tag{5.14}$$

care conţine în cel de-al doilea termen produsul $(C_R + c_i)B$, ce ţine seama de ciclurile viitoare de înlocuire şi reparaţie.

Modelul analitic expus, necesitând doar cunoaşterea unor date referitoare la cheltuielile de reparaţie şi de înlocuire, a coeficientului creşterii numărului de avarii şi a ratei inflaţiei, oferă posibilitatea de calcul a momentului optim de înlocuire a conductelor avariate, asigurându-se astfel luarea unor decizii importante în mod corect şi cu cheltuieli minime.

5.4. ANALIZA ŞI EVALUAREA PIERDERILOR ŞI RISIPEI DE APĂ ÎN REŢELE EXTERIOARE ŞI INSTALAŢII INTERIOARE

Pierderile de apă apar ca o consecinţă a avărierii atât a reţelelor de distribuţie cât şi a instalaţiilor interioare destinate alimentării populaţiei şi industriilor, iar risipa de apă rezultă din utilizarea neraţională a apei la punctele de consum. Se consideră drept pierderi de apă în reţeaua de distribuţie diferenţa dintre cantitatea totală de apă trimisă în reţea în cursul unui an şi cantitatea de apă livrată util consumatorilor, exprimându-se procentual.

Scanned with OKEN Scanner

Din observaţiile asupra unor lucrări executate în mai multe localităti din ţară, a rezultat că pierderile de apă şi risipa în utilizare conduc la valori de până la 50 % din cantitatea de apă distribuită.

Cauzele care conduc la risipă sunt cele legate de utilizarea bateriilor şi robinetelor neeconomice, utilizarea unor obiecte sanitare cu formă şi dimensiuni ce conduc la consumuri specifice mari, acumularea apei în obiectele sanitare sau diferite recipiente din cauza regimului de funcţionare cu intermitenţă şi evacuarea apei la canal când reîncepe alimentarea cu apă, costul ridicat al înlocuirii armăturilor defecte etc.

În cazul centrelor urbane mari, o parte însemnată din industriile acestora utilizează apă din sistemul centralizat de alimentare cu apă potabilă, aşa cum reiese din analiza situaţiei existente în anul 1990, în şapte centre urbane ale ţării, prezentată în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

Debitul de apă distribuit populaţiei şi industriilor în sistemul centralizat al unor mari centre urbane

Nr. crt.	Centrul urban	Debitul orar maxim [m^3/s]					Apă pt. industrie din totalul general [%]
		Apă potabilă pt. populaţie	Apă pentru industrie			Total general	
			potab.	industr.	total		
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Arad	1,03	1,49	0,89	2,38	3,41	69
2	Craiova	1,16	2,33	26,40	28,73	29,89	88
3	Oradea	1,68	0,46	-	0,46	2,14	21
4	Satu-Mare	0,57	0,52	0,18	0,70	1,27	55
5	Sibiu	0,94	0,41	0,52	0,93	1,87	49
6	Timişoara	1,62	2,42	1,03	3,45	5,07	68
7	Târgu-Mureş	1,07	0,53	-	0,53	1,60	33

Având în vedere că alimentarea centralizată cu apă a centrelor urbane mari se realizează de obicei prin sisteme unitare de distribuţie şi că o mare parte din pierderile de apă din aceste sisteme se produc în instalaţiile interioare se impun, pe lângă măsurile privind raţionalizarea apei la consumatori, şi măsuri vizând restrângerea la minimum a pierderilor în instalaţiile interioare ale consumatorilor casnici şi industriali.

• În acest sens, pe baza unor sondaje întreprinse de fostul GIGCL Timişoara în anul 1989, la un număr de cca 900 apartamente din minicipiul Timişoara, s-a evaluat şi estimat mărimea pierderilor de apă, în instalaţiile interioare ale consumatorilor casnici din municipiu, a căror micşorare substanţială constituie o măsură eficientă de reducere a consumului de apă potabilă, date fiind condiţiile destul de dificile în care se realizează alimentarea centralizată cu apă potabilă în municipiu,

Scanned with OKEN Scanner

cerinţa de apă depăşind capacităţile instalate ale surselor existente. S-au luat în studiu 895 apartamente, însumând un număr de 2512 locatari şi fiind dotate cu 1040 instalaţii de WC, 2405 baterii de amestec şi 93 robinete de apă rece, precum şi 4 cămine studenţeşti cu 1451 persoane, 112 instalaţii de WC, 589 baterii de amestec şi 140 robinete de apă rece, la care s-au observat pierderile de apă la armăturile obiectelor sanitare principale (ventile cu plutitor de la intalaţia WC-urilor, baterii de amestec de la căzi, lavoare, spălătoare, bideuri, duşuri izolate, robinete de apă rece), clasificându-se în două categorii:

– pierderi reduse şi pierderi importante, la instalaţiile WC-urilor;
– pierderi prin picurare şi scurgeri continue, la baterii şi robinete.

Aceste pierderi de apă au fost simulate pe o instalaţie experimentală, cu ajutorul căreia s-a putut aproxima mărimea lor, după cum urmează: 0,003 dm^3/s – pierdere redusă; 0,006 dm^3/s – pierdere importantă; 0,0005 dm^3/s – pierdere prin picurare; 0,0024 dm^3/s – scurgere continuă. Rezultatele studiului sunt sintetizate în tabelul 5.4 şi s-au extrapolat şi pentru cele 90 000 de apartamente şi cei cca 19000 locatari ai căminelor studenţeşti din municipiu, rezultând o pierdere totală de apă de aproximativ 247 dm^3/s, ceea ce reprezintă 19 % din debitul de apă distribuită populaţiei prin instalaţiile centralizate de alimentare. Repartizarea acestor pierderi de apă, pe categorii de armături defecte din instalaţiile sanitare ale blocurilor de locuit şi ale căminelor studenţeşti din întreg municipiul, este prezentată în tabelul 5.5.

Analizând repartizarea pierderilor de apă pe categorii de armături defecte se constată că ponderea principală, de 79 %, o deţin *pierderile înregistrate la instalaţiile de la WC* ale apartamentelor sau căminelor. Aceste scurgeri se produc, în general, din următoarele cauze:

– defectarea garniturilor de la scaunul ventilului cu plutitor;
– defectarea garniturilor de la clopotul sifonului;
– uzarea scaunului de la ventilul cu plutitor;
– distrugerea braţului plutitorului.

O altă categorie de pierderi de apă cu o pondere mai redusă, de numai 19,5 % din totalul pierderilor pentru apartamente şi 14 % pentru cămine, o reprezintă *scurgerile de la bateriile de amestec* ce echipează căzile de baie, lavoarele sau spălătoarele de vase din bucătării, producându-se în majoritatea cazurilor din următoarele cauze:

– uzarea garniturilor de la scaunul bateriilor;
– uzarea şi ovalizarea scaunului supapei de închidere;
– uzarea axului filetat al bateriei.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.4

Evaluarea pierderilor de apă din instalațiile interioare de alimentare a populației din 895 apartamente și 4 cămine ale municipiului Timișoara, la nivelul anului 1989

Nr. crt.	Cartierul	Nr. apt.	Nr. pers.	Nr. pierderi constatate				Debit pierdut [dm^3/s]			Pierd. specif..med.	
				WC-uri		Baterii		WC-uri	Baterii	Total	dm^3/ /(ap·zi)	dm^3/ /(om·zi)
				reduse	import.	picur.	scurg.					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Fabric	235	611	87	24	122	36	0,405	0,147	0,552	203	78
2	Cetate	182	531	58	35	76	35	0,364	0,122	0,506	240	82
3	Mehala	196	471	65	36	131	49	0,411	0,184	0,595	262	109
4	Bălcescu	188	594	68	16	130	26	0,300	0,127	0,427	196	62
5	Fratelia	94	305	10	39	22	19	0,264	0,057	0,321	295	91
6	Cămine	-	1451	14	57	54	22	0,384	0,080	0,464	-	28
Total		895	3963	302	509	535	187	2,148	0,717	2,865	240	85

Tabelul 5.5

Repartizarea pierderilor de apă pe categorii de armături defecte

Pierderi de apă în:												Pierderi totale	
Instalații sanitare ale blocurilor de locuit						Instalații sanitare ale căminelor							
WC-uri		Baterii/robin.		Total		WC-uri		Baterii/robin.		Total			
[dm^3/s]	[%]	[dm^3/s]	[%]	[dm^3/s]	[%]	[dm^3/s]	[%]	[dm^3/s]	[%]	[dm^3/s]	[%]	[dm^3/s]	[%]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
190,4	79	47,0 / 3,6	19,5 / 1,5	241	100	4,8	79	0,9 / 0,4	0,7 / 0,3	6	100	247	100

Scanned with OKEN Scanner

A treia categorie de pierderi de apă, care însă prezintă o pondere de numai 15 % din total pentru apartamente şi de 7 % pentru cămine, o reprezintă *pierderile de la robinetele individuale de la bideuri sau duşuri izolate*, la care cauzele defecţiunilor sunt de obicei aceleaşi ca şi la bateriile de amestec.

• Tot în scopul evidenţierii şi evaluării pierderilor de apă în instalaţiile interioare s-au efectuat măsurători ale consumului de apă pe perioada a 15 zile într-un bloc cu 80 apartamente având patru scări, din cartierul Fratelia Timişoara. Rezultatele măsurătorilor efectuate în situaţia iniţială şi după executarea remedierilor sunt prezentate în tabelul 5.6, de unde se constată că debitul specific mediu pentru întregul bloc este mai ridicat decât prevederile stasului 1343/1 (280 $dm^3/(om \cdot zi)$ în zone cu clădiri având instalaţii interioare de apă şi canalizare şi cu instalaţii centrale de preparare a apei calde) şi că, după executarea remedierilor, reducerea consumului de apă a fost de 24 %. Debitul de apă caldă reprezintă 35...40 % din debitul specific total.

Tabelul 5.6
Consumul de apă la un bloc cu 80 apartamente

Nr. crt.	Specificaţia	Situaţia iniţială				După remedieri			
		Sc.A	Sc.B	Sc.C	Sc.D	Sc.A	Sc.B	Sc.C	Sc.D
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nr. consumatori [pers.]	66	62	69	65	68	60	65	69
2	Volume de apă măsurate [m^3]	315	283	344	319	257	200	235	265
3	Debite specifice [$dm^3/(om \cdot zi)$]	318	304	332	327	252	222	241	256
4	Debit specif. mediu [$dm^3/(om \cdot zi)$]	320				243			
5	Reducerea debitului specif. med. [%]	–				24,1			

Din analizele efectuate anterior, rezultă că în instalaţiile interioare ale consumatorilor casnici cca 18...24 % din debitul de apă distribuit populaţiei se risipeşte ajungând în reţeaua de canalizare fără a fi utilizat în mod corespunzător, datorită instalaţiilor defecte şi presiunilor prea mari la etajele inferioare în anumite zone.

Rezultate asemănătoare au fost obţinute şi prin cercetări ale unor specialişti [45, 66, 237, 243, 256] pentru un alt mare centru urban cum este municipiul Bucureşti, la nivelul anilor 1978-1980 şi recent în

Scanned with OKEN Scanner

perioada 1990-1993, constatându-se că pierderile de apă în instalaţiile interioare din clădiri de locuit variază între 55 şi 285 $dm^3/(om \cdot zi)$, constituind 14...55 % din debitul de apă distribuit prin instalaţiile centrale de alimentare, ceea ce reprezintă valori ridicate în comparaţie cu consumurile medii normate.

• Este cunoscut faptul că prin aplicarea unor regimuri restrictive de alimentare cu apă rece şi caldă, pe lângă înrăutăţirea condiţiilor de confort se favorizează condiţii pentru risipa de apă şi implicit de energie.

Pentru o analiză în acest sens, se prezintă rezultatele verificărilor efectuate pe baza măsurătorilor directe de debite pentru un ansamblu de clădiri cu 560 apartamente în blocuri P+4E şi 2 000 locuitori din municipiul Timişoara. Ansamblul de clădiri este alimentat cu apă rece şi caldă prin intermediul unor instalaţii centralizate de preparare şi de ridicare a presiunii, amplasate într-un punct termic din zona Dâmboviţa. Apa rece a fost distribuită în mod continuu 24 ore/zi, iar apa caldă intermitent, 10 ore/zi în intervalul 6-11 şi 17-22.

Prin prelucrarea rezultatelor măsurătorilor, efectuate în condiţii de exploatare în lunile octombrie–noiembrie 1989, s-au determinat consumurile medii orare de apă rece şi caldă, indicându-se în tabelul 5.7 valorile absolute şi procentuale ale acestora, şi s-au stabilit cronogramele de consum reprezentate în figura 5.3.

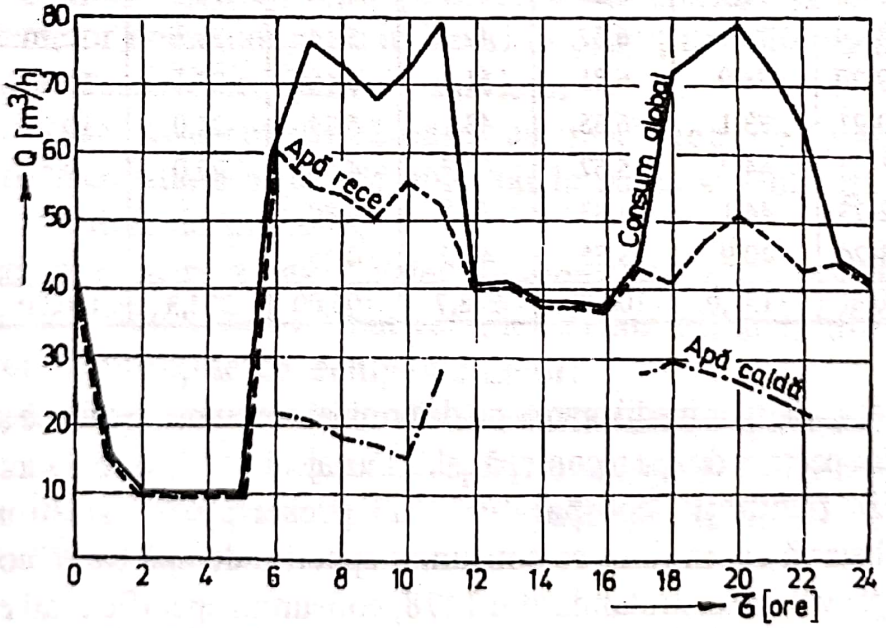


Fig. 5.3 – Cronogramele consumului mediu de apă.

Alura curbei consumului global evidenţiază două maxime în perioadele de distribuţie a apei calde şi un minim în timpul nopţii, între orele 2 şi 5, reprezentând aproximativ pierderile din instalaţiile interioare. Se înregistrează un coeficient de neuniformitate orară cu valoarea 1,64, mai mică decât cea prevăzută în stasul 1343.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.7
Valorile medii ale consumurilor orare de apă

Ora	Consum global		Consum apă rece		Consum apă caldă	
	[m³/h]	[%]	[m³/h]	[%]	[m³/h]	[%]
0	1	2	3	4	5	6
0-1	13,8	1,20	13,8	1,50	-	-
1-2	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
2-3	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
3-4	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
4-5	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
5-6	57,3	5,00	57,3	6,23	-	-
6-7	73,7	6,40	53,6	5,83	20,1	8,62
7-8	71,7	6,22	52,8	5,75	18,9	8,12
8-9	64,8	5,61	47,5	5,17	17,3	7,42
9-10	68,4	5,93	52,8	5,75	15,6	6,70
10-11	77,5	6,72	48,8	5,31	28,7	12,30
11-12	40,6	3,52	40,6	4,42	-	-
12-13	41,0	3,56	41,0	4,46	-	-
13-14	38,0	3,30	38,0	4,14	-	-
14-15	38,0	3,30	38,0	4,14	-	-
15-16	37,7	3,27	37,7	4,10	-	-
16-17	43,6	3,78	43,6	4,75	-	-
17-18	71,7	6,22	42,1	4,58	29,6	12,70
18-19	75,7	6,57	47,2	5,14	28,5	12,20
19-20	78,9	6,85	51,3	5,59	27,6	11,80
20-21	73,1	6,35	48,1	5,24	25,0	10,70
21-22	64,7	5,62	42,7	4,65	22,0	9,44
22-23	44,1	3,83	44,1	4,80	-	-
23-24	40,9	3,55	40,9	4,45	-	-
Total	1152,0	100,00	918,7	100,00	233,3	100,00

Pe baza valorilor medii orare s-au determinat consumurile zilnice şi respectiv consumurile specifice de apă rece şi apă caldă menajeră. În tabelul 5.8 sunt prezentaţi indicatorii rezultaţi comparativ cu prescripţiile stasului 1478.

Se observă că, în timp ce consumul specific de apă caldă corespunde normelor prevăzute prin standardul 1478, consumul specific total este dublu faţă de consumul normat.

Pe baza acestor rezultate şi a altor experimentări efectuate de specialişti în alte localităţi urbane [223], s-a putut constata că regimul intermitent de distribuţie conduce la mărirea consumurilor specifice de apă, prin formarea stocurilor neutilizate, precum şi la creşterea vârfurilor de consum, care atrag şi consumuri suplimentare de energie pentru pompare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.8
Valorile comparative ale consumurilor de apă

Nr. crt.	Indicatorul	UM	Total	Din care apă caldă
0	1	2	3	4
1	Consum zilnic	[m^3/zi]	1152	233,3
2	Consum specif. efectiv	[dm^3/(om·zi)]	576	117,0
3	Consum specif. stas 1478	[dm^3/(om·zi)]	280	110,0
4	Diferenţa în plus	[%]	105	6,0

• Faţă de ponderea însemnată a consumului de apă la utilizatorii industriali din majoritatea marilor centre urbane, care sunt alimentaţi cu apă potabilă prin reţele unitare, se impune examinarea posibilităţilor de reducere a acestui consum concomitent cu micşorarea pierderilor de apă în instalaţiile publice şi interioare destinate alimentării populaţiei, scop în care s-a efectuat o analiză privind modul de gospodărire a apei la unii utilizatori industriali, rezultând deficienţe ca:

– pierderi de apă de cca 20 % din apa potabilă distribuită în reţeaua unitară şi cea din incinta consumatorilor industriali, datorată în principal vechimii reţelei, calităţii slabe a armăturilor şi conductelor, dar şi sistemelor defectuoase de îmbinări în condiţiile solicitărilor sporite ca urmare a creşterii presiunii de serviciu;

– dotarea necorespunzătoare cu mijloace de măsurare şi contorizare a consumatorilor de apă atât la surse şi staţii de pompare cât şi pe circuitele de utilizare;

– vechimea mare a bazei materiale (conducte, armături, debitmetre etc.), care contribuie atât la mărirea pierderilor cât şi la dificultăţi în exploatarea şi întreţinerea echipamentelor;

– depăşiri ale consumurilor de apă în industrie, ajungând în unele cazuri la peste 200 % faţă de cele reglementate prin norme de consum, datorate şi inexistenţei unor tarife diferenţiale sporite în caz de depăşire a consumurilor normate.

5.5. MĂSURI PENTRU REDUCEREA PIERDERILOR ŞI RISIPEI DE APĂ

Principalii factori care influenţează avariile, pierderile şi risipa de apă pot fi sintezizaţi astfel:

Scanned with OKEN Scanner

– schemele de distribuţie şi soluţiile tehnice de execuţie şi montaj a reţelelor exterioare şi instalaţiilor interioare de alimentare cu apă;

– calitatea materialelor pentru conducte, armături, utilaje şi fiabilitatea acestora;

– regimul de exploatare a reţelelor exterioare şi instalaţiilor interioare de distribuţie a apei;

– regimul de presiuni disponibile ale apei.

Experienţa îndelungată din ţara noastră şi din alte ţări arată că avariile în reţelele de distribuţie a apei nu pot fi practic evitate complet, unele dintre ele putând fi considerate accidente normale de exploatare. Trebuie însă urmărit ca în cadrul unor condiţii economice, avariile să se limiteze la un număr redus, la efecte cât mai restrânse şi cu posibilităţi de reparare cât mai rapidă.

Prevenirea avariilor constituie o cale directă pentru micşorarea consumului energetic şi a costului de investiţie al sistemului de distribuţie a apei.

Consumurile specifice de apă măsurate depăşesc consumurile normate de cca două ori, cu implicaţii financiare şi sociale în legătura cu sistemul de tarifare a apei şi a energiei termice pentru prepararea apei calde.

Însemnate pierderi de apă şi implicit de energie provin şi de la armăturile de serviciu, având drept cauze principale calitatea necorespunzătoare a garniturilor şi mecanismul greoi de reglaj al temperaturii apei şi al debitului în timpul utilizării. În primul caz, au loc permanent pierderi de apă, până la înlocuirea garniturii defecte, iar în al doilea caz, pierderile de apă se produc în timpul reglajului. Cu cât acest reglaj se realizează într-un timp mai scurt, cu atât pierderile sunt mai mici.

Un alt element important, care favorizează pierderile de apă la bateriile amestecătoare, îl constituie presiunea disponibilă la baterie, precum şi diferenţa dintre presiunea apei calde şi a apei reci. Pentru a reduce la minimum pierderile este necesar ca presiunea disponibilă la baterie să fie cea minim necesară (cca 3 m), iar diferenţa între presiunea apei reci şi calde să fie zero (se admite o diferenţă de maximum 2 m). Folosirea unor baterii echipate cu dispozitive de reglaj a presiunii constituie soluţia optimă. În lipsa acestora se recomandă dimensionarea corespunzătoare a instalaţiei şi echiparea, la nevoie, cu dispozitive generale şi locale de reducere a presiunii. Pentru reducerea pierderilor şi risipei de apă până la limitele admisibile se pot folosi măsurile şi procedeele expuse în continuare.

• *Măsuri tehnice.* În cadrul acestor măsuri de reducere a pierderilor şi risipei de apă trebuie luate în considerare:

– optimizarea structurală şi funcţională a reţelelor exterioare de distribuţie existente şi a extinderilor acestora, astfel încât să se asigure o uniformizare cât mai bună a presiunii de lucru la toate nivelele clădirilor;

Scanned with OKEN Scanner

– proiectarea instalaţiilor interioare noi cu posibilităţi de contorizare pe apartament;

– asigurarea distribuţiei continue a apei (zi şi noapte), atât la sistemele noi ce se proiectează, cât şi la cele existente, şi dimensionarea agregatelor de pompare corespunzător ipotezelor reale de funcţionare;

– montarea corectă a dispozitivelor şi utilajelor în vederea reducerii efectelor loviturilor hidraulice;

– ridicarea continuă a calităţii executării lucrărilor de construcţii şi montaj a conductelor;

– înlocuirea conductelor din reţeaua de distribuţie care au durata de serviciu epuizată, durată determinată conform modelului analitic descris la pct.5.3;

– instalarea pe arterele principale a unor vane electromagnetice care se închid la scăderea de presiune provocată de o avarie, realizând astfel sectorizarea porţiunilor avariate;

– extinderea şi refacerea reţelelor de distribuţie a apei folosind materiale şi tehnologii noi, performante, astfel încât să se reducă la minimum cazurile de avarii şi să se poată efectua reparaţiile într-un timp mai scurt;

– raţionalizarea consumurilor prin revizuirea normelor specifice şi a parametrilor calitativi, în raport cu natura folosinţei;

– respectarea regimului de temperaturi ale agentului termic primar, astfel încât apa caldă să fie furnizată cu temperatura de utilizare necesară, precum şi revenirea la regimul continuu de furnizare a apei calde;

– adoptarea sistemelor de instalaţii de recirculare a apei calde de consum pentru ansamblurile de clădiri, asfel încât să fie redus timpul de aşteptare a apei calde;

– aplicarea procedeelor de preparare locală a apei calde de consum menajer;

– perfecţionarea armăturilor obiectelor sanitare şi protecţia împotriva loviturii de berbec a instalaţiilor interioare;

– realizarea efectivă şi definitivarea măsurilor pentru contorizarea întregului sistem de alimentare cu apă, folosind aparate fiabile.

• *Măsuri organizatorice.* Dintre măsurile organizatorice de micşorare a pierderilor şi risipei de apă în sistem se amintesc:

– dezvoltarea unei industrii a apei care să asigure materiale, conducte şi armături, instalaţii şi utilaje, dispozitive de cea mai bună calitate, cu fiabilitate ridicată şi eficienţe tehnologice sporite;

– înfiinţarea unor întreprinderi de construcţii şi instalaţii specializate în realizarea lucrărilor de alimentare cu apă;

– introducerea unui sistem de tarife diferenţiale;

Scanned with OKEN Scanner

– ridicarea gradului de întreţinere a reţelelor de distribuţie a apei şi organizarea în cadrul regiilor autonome de apă–canal a unui *service*, prin echipe permanente de instalatori care să efectueze controale şi operaţii de reparaţie şi întreţinere la instalaţiile interioare, cu facturarea operaţiilor în nota de plată a apei.

• *Măsuri educative.* În cadrul măsurilor educative de reducere a pierderilor şi risipei de apă un rol însemnat îl au:

– conştientizarea cetăţenilor în direcţia înţelegerii gravităţii pe care o prezintă pierderile de apă, atât în legătură cu costurile suplimentare de investiţie în noi lucrări de alimentare cu apă, cât şi asupra cheltuielilor de exploatare;

– folosirea mijloacelor de propagandă şi influenţare a opiniei publice (presă, radio, televiziune, reviste de specialitate etc.) pentru înlăturarea risipei şi a pierderilor de apă.

Măsurile şi procedeele menţionate presupun un efort material considerabil din partea statului, în care importul de tehnologie şi licenţă, înfiinţarea de societăţi comerciale mixte, schimbul de specialişti pot fi avute în vedere.

Legislaţia din domeniu şi activitatea organelor tehnice de specialitate poate fi eficientă şi să-şi atingă scopul numai în măsura în care fiecare membru al societăţii este sensibilizat la problemele apei şi devine factor activ în evitarea pierderilor şi risipei de apă.

5.6. APLICAREA CONTORIZĂRII ÎN SISTEMELE DE DISTRIBUŢIE A APEI

5.6.1. GENERALITĂŢI

În prezent în ţara noastră numai 15...20 % din cantitatea de apă distribuită este facturată pe baza înregistrării consumurilor prin apometre. De aici, necesitatea unei strategii care să facă viabilă aplicarea contorizării în sistemele de alimentare cu apă rece şi caldă.

În majoritatea localităţilor, facturarea consumurilor de apă se efectuează în sistem pauşal, datorită faptului că aparatele de măsură produse în ţară (importul fiind redus) au prezentat o fiabilitate redusă şi un grad de precizie necorespunzător. Această situaţie conduce, pe de o parte, la suspiciuni din partea beneficiarilor privind corectitudinea cantităţilor facturate de către unităţile distribuitoare, iar, pe de altă parte, înlătură interesul consumatorilor pentru utilizarea judicioasă şi economică a apei.

În condiţiile liberalizării preţurilor la combustibili, precum şi a eliminării subvenţilor, contorizarea pe imobil a consumurilor de apă se impune ca o acţiune de prim ordin. Ţinând seama de modul de proiectare

Scanned with OKEN Scanner

şi realizare a instalaţiilor de distribuţie în clădirile de locuit (distribuţii verticale cu coloane separate pe încăperi şi dependinţe), precum şi costul ridicat al contorizării, se consideră că în etapa actuală este practic imposibilă şi inoportună contorizarea la nivel de apartament.

În conformitate cu prevederile Hotărârii Guvernului nr 348/1993, consumurile de apă se vor determina cu ajutorul sistemelor de măsură, prin care se asigură contorizarea cantităţilor livrate în vederea facturării. Achiziţionarea şi montarea contoarelor se vor realiza în etape, pe baza unor programe întocmite de distribuitorii de apă şi care sunt aprobate de consiliile locale.

Din analiza proiectelor de instalaţii tehnico–sanitare, elaborate pentru clădirile de locuit, rezultă următoarele:

• *pentru apa rece* există câte un racord separat de la reţeaua exterioară pentru fiecare tronson de bloc. În cazul în care blocurile sunt racordate la o staţie de hidrofor, contorul pentru măsurarea cantităţilor de apă este montat la această staţie. Instalaţiile care sunt racordate direct la reţeaua publică au prevăzute înainte de intrarea în bloc poziţia pentru contor – pe branşament sau în cămin.

Dimensiunile de contoare, necesare pentru măsurarea cantităţilor de apă la nivelul unui bloc sau scară, pot fi:

– Dn 1 1/4" (32 mm) şi 1 1/2" (40 mm) pentru blocurile P+4E;
– Dn 2" (50 mm) şi 2 1/2" (65 mm) pentru blocurile P+8E;
– Dn 2 1/2" (65 mm) şi 3" (80 mm) pentru blocurile P+10E.

• *pentru apa caldă menajeră* se disting următoarele situaţii:

– racord separat din exterior pentru fiecare tronson sau scară;
– racord din exterior pentru întregul bloc;
– conducta centralizată de apă caldă menajeră traversează subsolurile blocurilor, situaţie în care există racord separat pentru fiecare tronson sau scară.

Dimensiunile de contoare necesare la nivel de bloc, tronson sau scară, pot fi următoarele:

– Dn 1 1/4" şi 1 1/2" pentru blocuri P+4E;
– Dn 2" şi 2 1/2" pentru blocuri P+8E;
– Dn 3" şi 4" pentru blocuri P+10E.

5.6.2. CONDIŢII DE MONTARE ŞI CRITERII DE ALEGERE A CONTOARELOR (APOMETRELOR)

Principalele condiţii de care trebuie să se ţină seama la montarea contoarelor sunt:

– refacerea calculului hidraulic la reţele şi verificarea pompelor de circulaţie pentru acoperirea pierderilor locale de sarcină introduse prin montarea contorului;

Scanned with OKEN Scanner

– eliminarea macroimpurităţilor prin spălarea sau purjarea instalaţiei la care urmează a se introduce contorizarea;

– modificarea instalaţiilor în vederea asigurării condiţiilor de montaj prevăzute în documentaţia tehnică a contorului;

– prevederea spaţiului necesar pentru amplasarea, montarea şi exploatarea corespunzătoare a echipamentului de contorizare;

– în cazul contorizării globale pe clădiri, montarea contoarelor se face în spaţii corespunzătoare din subsolul clădirilor, în nişe, cămine sau canale circulabile;

– în cazul în care la execuţie nu se poate monta echipamentul de contorizare o dată cu restul instalaţiei, se va prevedea spaţiul necesar şi se vor monta tronsoane demontabile în locul în care se va poziţiona ulterior echipamentul de contorizare;

– la noile clădiri de locuit ce se proiectează şi se execută trebuie să fie prevăzute poziţii pentru contor în cazul fiecărui apartament;

La legerea contoarelor trebuie să se ţină seama de următoarele criterii:

– se vor utiliza acele contoare care au aprobare de model din partea Biroului Român de Metrologie Legală;

– se va ţine seama de eroarea maximă admisă de normele în vigoare (ISO 4064/1 – contoare de apă rece, OIML RI 72 – contoare de apă caldă);

– clasa de precizie şi ceilalţi parametri ai aparatelor se apreciază numai pe ansamblul aparatului şi nu pe subansamble;

– se va ţine seama că, în general, în subsolurile tehnice este mediu umed şi prin urmare instalaţiile electrice utilizează curent de 24 V şi respectiv 12V;

– timpul mediu de bună funcţionare să fie cât mai mare;

– se vor alege contoarele care au o fiabilitate superioară şi o anduranţă garantată, la care se asigură service şi piese de schimb pentru cel puţin 10 ani.

5.6.3. TIPURI CONSTRUCTIVE DE CONTOARE

Din punct de vedere constructiv, contoarele de apă se clasifică astfel:

– *contoare directe* (*volumice*), unde debitul este proporţional cu frecvenţa ciclurilor de încărcare – descărcare succesivă cu apă a camerelor de măsurare, calibrate volumic, aferente contorului. Cele mai utilizate contoare directe sunt cele cu piston inelar oscilant.

– *contoare indirecte* (*de viteză*), unde debitul este proporţional cu viteza apei în secţiunea de măsurare cu arie constantă, secţiune aferentă contorului.

Contoarele indirecte folosite pentru măsurarea consumurilor de apă sunt:

• *Contoarele cu morişcă*, acţionate de un singur jet (fig. 5.4) sau de mai multe (fig. 5.5), se folosesc la debite mici, pentru diametre nominale ale racordurilor de 15...10 mm.

Scanned with OKEN Scanner

Cu referire la figura 5.4, jetul de apă la intrarea în contor suferă o mărire locală a vitezei, obţinându-se astfel o bună extensie a domeniului de măsurare a contorului. Jetul acţionează succesiv fiecare paletă a moriştii 1, determinând rotirea acesteia cu o viteză unghiulară proporţională cu debitul de fluid trecut prin contor. Cantitatea de apă trecută prin contor este proporţională cu numărul de rotiri ale moriştii şi este redată local la un totalizator mecanic.

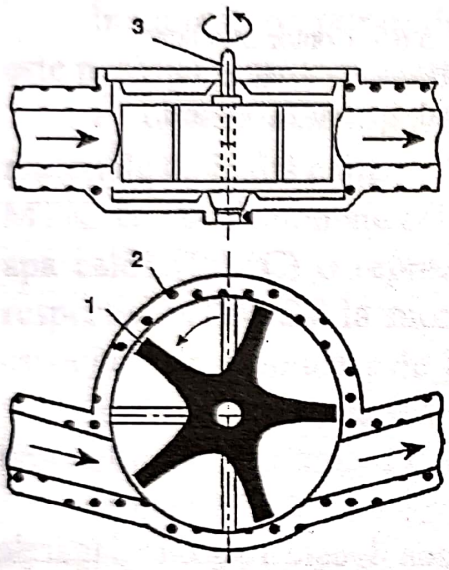


Fig. 5.4 – Contor cu morişcă unijet: 1–morişcă; 2–carcasă contor; 3–ax morişcă.

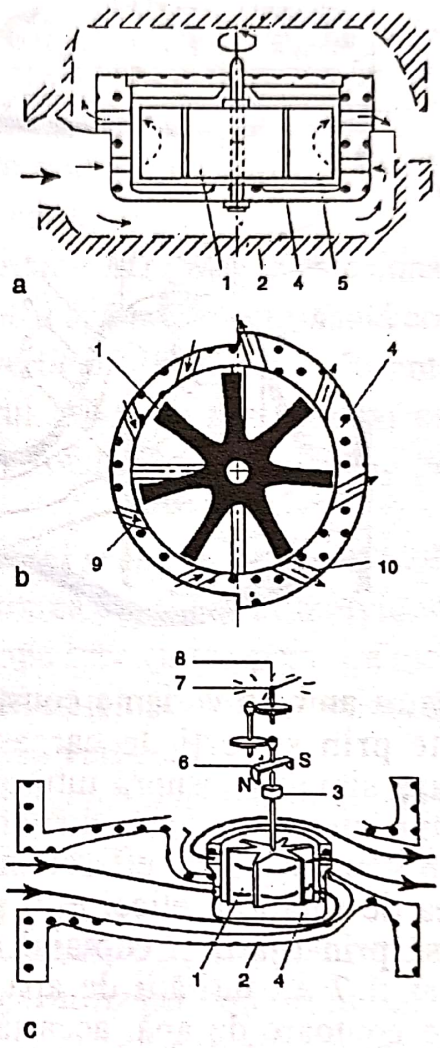


Fig. 5.5 – Contor cu morişcă multijet:a, b – secţiune transversală şi orizontală; c – schemă de transmisie a rotirii moriştii;1–morişcă; 2–carcasă contor; 3–ax morişcă; 4–carcasă cameră de măsurare; 5–rotor morişcă; 6–cuplaj magnetic; 7–ac indicator; 8–cadran; 9–canal interior; 10–canal superior.

Referitor la figura 5.5, jetul de apă intrat în contor este iniţial divizat în mai multe jeturi de către ferestrele practicate în carcasa camerei de măsurare 4. Aceste jeturi acţionează simultan şi în acelaşi sens asupra unui număr corespunzător de palete ale moriştii 1, rotind-o cu o viteză proporţională cu debitul de apă trecut prin contor. Accesul jeturilor de apă spre camera de măsurare se face pe la partea ei inferioară, iar evacuarea acestora pe la partea superioară. Cantitatea de apă este afişată local, putând fi transmisă electric la distanţă.

Scanned with OKEN Scanner

• *Contoarele cu elice Woltmann* pot avea axul orizontal (fig. 5.6.*a*) sau vertical (fig. 5.6.*b*) şi se folosesc la debite medii şi mari, pentru diametre nominale ale racordurilor de 50...250 mm.

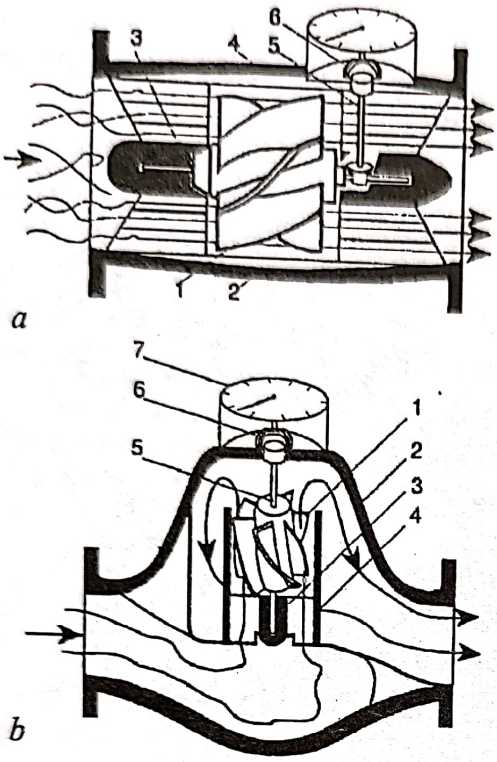


Fig. 5.6 – Contor cu elice Woltmann: *a* – cu ax orizontal; *b* – cu ax vertical.

Pentru ambele variante constructive, elicea 1 este rotită în lagărele 3 (fixate prin suporţi de carcasa 2) de apa ce trece prin contor şi acţionează simultan asupra tuturor paletelor elicei. În cazul contoarelor Woltmann cu ax vertical, dirijarea jetului de apă se face cu ajutorul unui tub 4 poziţionat vertical în interiorul căruia se roteşte elicea 1. Mişcarea de rotaţie a elicei este proporţională cu debitul de apă şi este transmisă prin tija 5 şi cuplajul magnetic 6, permiţând afişarea locală pe cadranul 7 a cantităţii de apă trecută prin contor. Similar celorlalte tipuri de contoare de apă, această informaţie poate fi transmisă electric la distanţă.

După instalare, contoarele nu trebuie să fie supuse tensiunii mecanice a conductelor cu care sunt racordate şi nici unor acţiuni hidraulice nefavorabile: cavitaţie, lovituri de berbec.

La punerea în funcţiune accesul apei în contor va fi permis prin deschiderea progresivă a robinetelor aferente, dezaerisindu-se întregul ansamblu care trebuie să fie în totalitate umplut cu apă.

5.6.4. CONTOARE MODERNE TIP ZENNER

Compania germană ZENNER, prin reprezentanţa din Arad, produce o gamă largă de contoare de apă rece şi caldă de bună calitate şi precizie, care pot în scurt timp să se impună pe piaţa românească.

Scanned with OKEN Scanner

• *Contorul multijet, cu cadran umed – MNK* este cu priză directă, cu turbină, folosit pentru măsurarea debitelor de apă având o temperatură maximă de 30 °C.

Montarea se face pe conducte orizontale, pentru conductele verticale existând două variante de contoare în funcţie de circulaţia fluidului: MNK–ST pentru circulaţie ascendentă şi MNK–F în cazul unei circulaţii descendente.

Corpul contorului este realizat din aliaj de alamă, iar angrenajul de măsură, din material plastic (polistiren şi policarbonaţi).

În canalul de intrare în contor este integrat un filtru, a cărui curăţire este posibilă fără demontare sau reetalonare.

• *Contorul multijet, cu cadran uscat – MTK/MTW* este construit din materiale de înaltă calitate. Varianta pentru apă rece o reprezintă contoarele MTK, ce pot fi montate orizontal sau vertical (MTK–ST). Varianta pentru apa caldă (90 °C) o reprezintă contorul MTW pentru montaj orizontal, respectiv MTW–ST la montaj vertical. Totalizatorul contorului permite o capacitate de acumulare de 100 000 m^3.

• *Contorul monojet, cu cadran uscat şi cap rotativ – ETK/ETW* este un contor de apartament pentru înregistrarea consumului individual.

Modelul ETK se foloseşte pentru apa rece cu temperatura maximă de 30 °C, iar modelul ETW, pentru apa caldă cu temperatura maximă de 90 °C, putând fi montate în poziţie orizontală sau verticală.

Ambele tipuri de contoare se folosesc şi în variantele protejate la îngheţ (ETK–FR/ETW–FR) sau cu transmiterea semnalelor la distanţă (ETKI, ETWI).

Totalizatorul are o capacitate de acumulare de 100 000 m^3.

Firma ZENNER oferă posibilitatea utilizării contorului cu jet unic, constituind module independente sau elemente componente ale unor montaje. Aceste posibilităţi de măsurare pot fi folosite la proiectarea instalaţiilor din clădiri noi sau pentru separarea consumurilor, fără modificări ale instalaţiilor existente în clădirile vechi.

• *Contorul Woltmann – WPH/WPHI, WP/WPI, WS/WSI* măsoară şi totalizează debite mari de apă care au o evoluţie relativ regulată în timp.

Se foloseşte cu predilecţie pe aspiraţia şi refularea pompelor, precum şi în reţelele de alimentare cu apă, montându-se în orice poziţie.

Pentru apa caldă cu temperatura până la 90 °C se folosesc tipurile: WPI, WSI şi WPHI.

Caracteristicile tehnice ale contoarelor tip Zenner sunt redate în tabelul 5.9.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.9
Caracteristicile tehnice ale contoarelor Zenner

Nr. crt.	Tip contor	Diametrul, D_n [mm]	Debitul, Q_n [m³/h]
0	1	2	3
1	ETK	15 - 20	1,5 - 2,5
2	ETW	15 - 20	1,5 - 2,5
3	MNK	15...50	1,5...15
4	MTK	15...50	1,5...15
5	MTW	15...40	1,5...10
6	WPH/WPHI	50...200	15...250
7	WP/WPI	50...150	15...150
8	WS/WSI	50...400	15...1000

5.6.5. CONTORIZAREA ŞI URMĂRIREA CENTRALIZATĂ A CONSUMURILOR DE APĂ

În scopul introducerii debitmetriei la utilizatori, s-a conceput şi o instalaţie pentru contorizarea şi urmărirea centralizată a consumurilor de apă [188], care permite înregistrarea, transmiterea, afişarea şi urmărirea centralizată a cantităţii de apă utilizată la nivelul diferiţilor consumatori.

Pentru contorizarea debitului de apă consumat, s-au folosit de obicei apometrele de tip vechi produse în ţară, montate pe conducte de alimentare. Aceste aparate sunt compuse dintr-o carcasă metalică în care este montat un rotor cu palete, ce se roteşte sub acţiunea curentului de apă şi transmite această mişcare la un mecanism totalizator care indică volumul de apă consumat. Apometrele respective prezintă dezavantajul de a nu permite urmărirea de la distanţă a mărimii măsurate.

Instalaţia care se descrie înlătură acest dezavantaj prin aceea că utilizează nişte traductoare de debit montate pe conductele de alimentare, de la care se obţin semnale electrice sub forma unor trenuri de impulsuri a căror frecvenţă este proporţională cu debitul de apă, fiind transmise prin linii de legătură electrică la nişte numărătoare de impulsuri montate pe un panou central, unde se face citirea şi urmărirea consumurilor. Se dă un exemplu de realizare a instalaţiei cu referire la figurile 5.7 şi 5.8.

Traductorul de debit (fig. 5.7) are rolul de a furniza un semnal electric proporţional cu debitul de apă care circulă prin conducta de alimentare. Se compune dintr-o carcasă 1, un rotor cu palete 2 executat din material plastic, un magnet permanent 3 introdus într-o paletă a rotorului, o contragreutate 4 fixată pe paleta diametral opusă faţă de

Scanned with OKEN Scanner

magnetul permanent şi un sesizor magnetic inductiv 5. Prin intermediul racordurilor filate, cu care este prevazută carcasa, se efectuează montarea traductorului pe conducta de alimentare cu apă. Jetul tangenţial de apă pune în mişcare de rotaţie rotorul, şi fiecare trecere a magnetului permanent prin dreptul sesizorului inductiv în bobina acestuia induce impulsuri electrice, care formează un tren de impulsuri având frecvenţa proportională cu viteza şi, deci, cu debitul de apă ce circulă prin conductă.

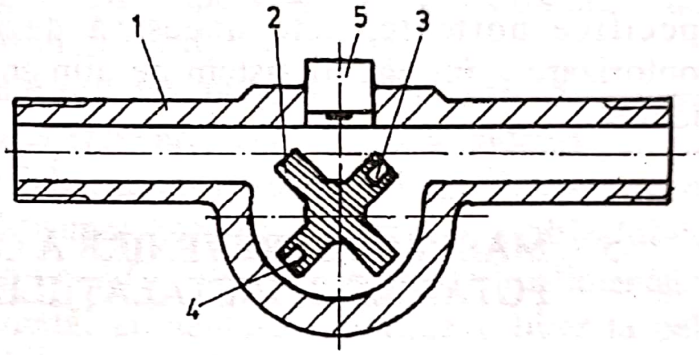


Fig. 5.7 – Secţiune printr-un traductor de debit: 1–carcasa; 2–rotor cu palete; 3–magnet permanent; 4–contragreutate; 5–sesizor.

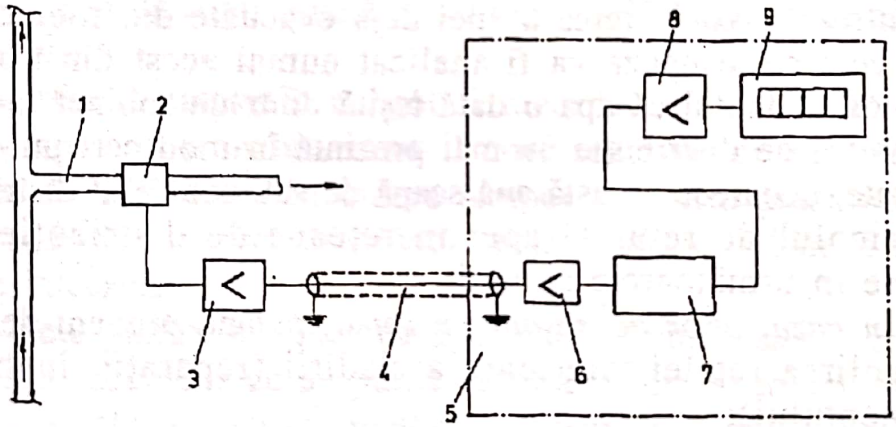


Fig. 5.8 – Schema de principiu pentru o linie de măsurare: 1–branşament; 2–traductor de debit; 3–preamplificator; 4–linie electrică; 5–panou central de măsurare; 6–amplificator de linie; 7–dispozitiv electronic de demultiplicare; 8–amplificator de putere; 9–numărător.

Traductorul de debit se ansamblează într-o linie de măsurare prezentată schematic în figura 5.8, unde se indică: un branşament de alimentare cu apă 1, pe care se montează un traductor de debit 2 de la care impulsurile electrice se transmit la un preamplificator 3, de unde printr-o linie electrică 4 ajung la un panou central de măsurare 5. În panoul central se prevede, pentru fiecare linie de măsurare, un amplificator de linie 6, de la care se alimentează un dispozitiv electronic de demultiplicare 7, şi în continuare printr-un amplificator de putere 8 se transmit impulsurile la un numărător 9.

Scanned with OKEN Scanner

Realizarea şi folosirea instalaţiei descrise, aduce următoarele avantaje:

– permite supravegherea de la distanţă a unor contoare montate în reţeaua de distribuţie şi reducerea consumului de apă la utilizatorii casnici şi industriali;

– asigură urmărirea parametrilor de funcţionare pentru unele utilaje tehnologice.

Pentru elaborarea unui sistem corect de tarifare a apei, stimulativ, în utilizarea raţională a apei potabile în special la consumatorii industriali, şi diferenţiat, cu penalizări în cazul depăşirii consumurilor specifice normate, este necesară definitivarea programului de contorizare a întregului sistem de alimentare cu apă folosind aparate fiabile.

5.7. MĂSURI DE PREVENIRE A CONTAMINĂRII APEI POTABILE ÎN INSTALAŢIILE DE DISTRIBUŢIE

Contaminarea apei potabile poate surveni fie în urma introducerii (deliberate sau nu) unor substanţe toxice în reţeaua de distribuţie, fie prin reintroducerea în reţea a apei deja evacuate din robinete.

În cele ce urmează va fi analizat numai acest din urmă aspect. Este cunoscut faptul că apa o dată ieşită dintr-un robinet racordat la o reţea publică de distribuţie nu mai prezintă în mod cert un caracter de potabilitate, deoarece această apă scapă de sub controlul distribuitorului.

Pericolul de retur al apei în reţeaua de distribuţie apare cu precădere în următoarele situaţii:

a) în cazul unor depresiuni în reţea, putând proveni de la:

– golirea reţelei interioare a clădirii (reparaţii, îngheţ, avaria branşamentului);

– variaţia presiunii în reţea ca urmare a unui consum ridicat la etajele inferioare sau în reţeaua publică de distribuţie;

b) în cazul utilizării unor echipamente capabile să producă o presiune superioară celei din reţea. Aceste echipamente pot fi pompe, grupuri de ridicare a presiunii, cazane, maşini de spălat, instalaţii de tratare şi filtrare a apei etc.

Pentru evitarea fenomenului de retur al apei în reţeaua de distribuţie se pot lua o serie de măsuri, care se împart în mai multe categorii:

• *Măsuri referitoare la armături şi obiecte sanitare*:

– orificiile robinetelor de serviciu de orice fel nu pot debuşa nici direct, nici indirect sub apă;

– robinetele amestecătoare trebuie să fie concepute de o asemenea manieră încât să fie exclusă posibilitatea scurgerii apei calde prin conducta de apă rece;

Scanned with OKEN Scanner

Realizarea şi folosirea instalaţiei descrise, aduce următoarele avantaje:

– permite supravegherea de la distanţă a unor contoare montate în reţeaua de distribuţie şi reducerea consumului de apă la utilizatorii casnici şi industriali;

– asigură urmărirea parametrilor de funcţionare pentru unele utilaje tehnologice.

Pentru elaborarea unui sistem corect de tarifare a apei, stimulativ, în utilizarea raţională a apei potabile în special la consumatorii industriali, şi diferenţiat, cu penalizări în cazul depăşirii consumurilor specifice normate, este necesară definitivarea programului de contorizare a întregului sistem de alimentare cu apă folosind aparate fiabile.

5.7. MĂSURI DE PREVENIRE A CONTAMINĂRII APEI POTABILE ÎN INSTALAŢIILE DE DISTRIBUŢIE

Contaminarea apei potabile poate surveni fie în urma introducerii (deliberate sau nu) unor substanţe toxice în reţeaua de distribuţie, fie prin reintroducerea în reţea a apei deja evacuate din robinete.

În cele ce urmează va fi analizat numai acest din urmă aspect. Este cunoscut faptul că apa o dată ieşită dintr-un robinet racordat la o reţea publică de distribuţie nu mai prezintă în mod cert un caracter de potabilitate, deoarece această apă scapă de sub controlul distribuitorului.

Pericolul de retur al apei în reţeaua de distribuţie apare cu precădere în următoarele situaţii:

a) în cazul unor depresiuni în reţea, putând proveni de la:

– golirea reţelei interioare a clădirii (reparaţii, îngheţ, avaria branşamentului);

– variaţia presiunii în reţea ca urmare a unui consum ridicat la etajele inferioare sau în reţeaua publică de distribuţie;

b) în cazul utilizării unor echipamente capabile să producă o presiune superioară celei din reţea. Aceste echipamente pot fi pompe, grupuri de ridicare a presiunii, cazane, maşini de spălat, instalaţii de tratare şi filtrare a apei etc.

Pentru evitarea fenomenului de retur al apei în reţeaua de distribuţie se pot lua o serie de măsuri, care se împart în mai multe categorii:

- *Măsuri referitoare la armături şi obiecte sanitare*:

– orificiile robinetelor de serviciu de orice fel nu pot debuşa nici direct, nici indirect sub apă;

– robinetele amestecătoare trebuie să fie concepute de o asemenea manieră încât să fie exclusă posibilitatea scurgerii apei calde prin conducta de apă rece;

Scanned with OKEN Scanner

– robinetele de spălare directă a vaselor de WC trebuie plasate la o distanţă minimă de 0,20 m deasupra bordurii vasului şi trebuie concepute astfel încât să împiedice orice retur al apei. Pentru a obţine acest efect, în aval de robinet, se va monta o supapă de aerisire. Secţiunea totală a intrărilor de aer este cel puţin egală cu secţiunea conductei de alimentare a robinetelor de spălare directă;

– duşurile de mână şi tubulaturile flexibile, racordate la baterii amestecătoare care pot fi scufundate accidental în lichidul din obiectul sanitar, trebuie să fie prevăzute cu clapetă antiretur. Robinetele de trecere sunt interzise pe racordul flexibil;

– orificiile de refulare ale robinetelor şi bateriilor care deservesc obiecte sanitare cu bazin de apă (lavoare, căzi de baie, bideuri pentru diferite aparate din spitale şi laboratoare) trebuie să se găsească la o distanţă minimă de 0,02 m deasupra bordurii superioare a obiectului;

– în rezervoarele de spălare a WC-urilor sau în pisoarele alimentate de un aparat cu spălare automată, alimentarea debuşează liber la cel puţin 0,02 m deasupra nivelului maxim al apei. Dacă alimentarea este înecată, ea trebuie prevăzută cu o supapă de aerisire, având secţiunea de minimum 1 cm^2 şi fiind situată la cel puţin 0,02 m deasupra nivelului maxim al apei;

– WC-urile şi pisoarele nu pot fi racordate direct la reţeaua de distribuţie a apei, ci prin intermediul unui rezervor de spălare sau a unui robinet de spălare cu închidere temporizată prin presiunea apei. Alimentarea directă a acestor obiecte prin intermediul unui robinet simplu este interzisă;

– aparatele pentru producerea apei calde trebuie să fie protejate contra oricărui accident ce ar putea rezulta în urma unei variaţii de presiune sau a întreruperii momentane a furnizării apei;

– rezervoarele de acumulare a apei calde cu un conţinut de cel puţin 10 dm^3 nu pot fi racordate direct la reţeaua de apă rece, ci prin intermediul montării imediat în amonte de aparat a următoarelor armături: robinet de închidere, robinet de control (în amonte de clapetă), clapetă anti–retur, supapă de siguranţă a cărei scurgere să fie direct vizibilă şi condusă spre canalizare, robinet de golire (în aval de clapetă).

• *Măsuri referitoare la instalaţia de distribuţie:*

– pentru construcţiile noi, utilizarea conductelor de plumb în instalaţiile de distribuţie a apei potabile este necesar a fi interzisă.

• *Măsuri referitoare la instalaţii hidraulice diverse:*

– este interzisă racordarea directă a unei instalaţii de încălzire centrală prevăzută cu vas de expansiune deschis la reţeaua de distribuţie a apei. În acest caz, se vor aplica toate măsurile de siguranţă, la fel ca la orice rezervor cu nivel liber;

Scanned with OKEN Scanner

– în cazul instalaţiilor de încălzire centrală prevăzute cu vas de expansiune închis (cu membrană), umplerea nu se poate face decât printr-o priză de alimentare conţinând un robinet de închidere, o clapetă anti–retur şi un tub flexibil cu racord olandez care se va debranşa imediat după umplerea instalaţiei;

– instalaţiile de încălzire centrală având în componenţă un schimbător de căldură, pentru încălzirea apei din piscină sau alte instalaţii similare, trebuie să fie alimentate prin intermediul unui vas de expansiune deschis;

– utilizarea ejectoarelor la care fluidul motor este apa potabilă este interzisă;

– pompele staţiilor de ridicare a presiunii nu pot fi racordate direct la reţeaua de distribuţie a apei decât prin intermediul unui montaj conţinând aparatură de siguranţă. Acest montaj trebuie să conţină în special un dispozitiv care să provoace oprirea pompei în caz de apariţie a unei depresiuni pe conducta de alimentare. Este necesar, de asemenea, să se introducă pe tubulatura de aspiraţie un filtru separator de impurităţi, uşor de demontat pentru curăţire, în scopul de a evita, ca urmare a pornirilor şi opririlor succesive ale pompei, blocajele datorate depozitelor ce se pot forma în reţeaua de distribuţie;

– instalaţiile interioare ce cuprind un aparat de tratare a apei, de orice tip, trebuie să fie echipate cu un robinet de închidere, un robinet de control şi o clapetă anti–retur în amonte de aparatul respectiv. Orice contact al produsului regenerator cu apa din reţea trebuie exclus în perioada de funcţionare normală;

– pentru toate rezervoarele este importană montarea unui preaplin care să fie capabil să absoarbă debitul maxim de alimentare.

Adoptarea unora dintre măsurile menţionate se va putea face numai în urma modificării unor acte normative, dar şi prin aplicarea cu consecvenţă a prevederilor normativelor existente, multe dintre ele cunoscute, dar neglijate în practică.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 6

PACHET DE PROGRAME ORDINATOARE

6.1. CONSIDERAŢII PRELIMINARE

Calculatorul electronic, instrument de calcul cu un randament foarte ridicat, a pătruns în numeroase domenii dintre cele mai diferite ale activităţii umane, aceasta concretizâdu-se, nu de puţine ori, prin modificarea structurală a unor metodologii şi chiar concepţii de calcul.

Dezvoltarea continuă a tehnicilor de calcul electronic, materializată prin noi generaţii de calculatoare cât şi prin limbaje de programare de nivel tot mai înalt, precum şi interacţiunea unor discipline moderne ca analiza numerică, calculul operaţional şi ingineria programării au condus la progrese de seamă şi în domeniul cercetării şi proiectării optimale a instalaţiilor de alimentare cu apă.

Pe această linie se înscrie şi prezentul capitol, destinat descrierii unui pachet de 12 programe ordinatoare, elaborate de autor pe baza algoritmilor şi modelelor de calcul expuse în capitolele 3 şi 4, în limbajul de programare FORTRAN 5.1, care pot fi rulate pe mai multe calculatoare, cu unele modificări neesenţiale dacă ordinatoarele respective dispun de compilatorul asociat limbajului respectiv. Ideea de bază care a stat la concepţia programelor de calcul a fost aceea de a se constitui într-un instrument de lucru în activitatea didactică, de cercetare şi proiectare în domeniul alimentărilor cu apă, urmărindu-se principalele deziderate:

– realizarea programelor astfel încât, pe baza unui volum de informaţie minim, să permită prelucrarea de către calculator a tuturor operaţiilor de calcul şi decizie cu mare volum de muncă, ce apar în procesul de analiză sau de proiectare a sistemelor de distribuţie a apei;

– adaptarea sau reformularea unor metode şi procedee de calcul clasice pentru a permite o modelare cât mai fidelă a proceselor hidraulice reale ce au loc în reţelele de distribuţie cu o topologie complexă, precum şi conceperea unor modele matematice noi, performante, pentru calculul reţelelor cu consum redus de energie, în rezolvarea cărora se utilizează diferite tehnici de optimizare pentru găsirea soluţiei optime din punct de vedere tehnic şi economico-energetic;

Scanned with OKEN Scanner

– realizarea de programe cât mai generale şi versatile, care să permită rezolvarea unei varietăţi de probleme concrete ce apar în practică, putând fi utilizate pentru o gamă largă a gradului de complexitate a reţelelor şi multiple criterii de optimizare;

– implementarea pachetului de programe pe microcalculatoare compatibile IBM-PC, utilizate tot mai mult la noi în ţară.

Topologia unei reţele de conducte este descrisă complet şi univoc cu ajutorul matricei de incidenţă şi a matricei ciclurilor, construite pentru graful asociat acesteia, ale căror elemente se reţin în memoria calculatorului conform metodologiei descrise [218].

Transmiterea informaţiilor, cu privire la caracteristicile geometrice ale sistemului de distribuţie, necesită o transformare a reţelei inelare într-una virtual ramificată şi un mod specific de numerotare a nodurilor şi tronsoanelor acesteia, astfel încât nodul final al unui tronson se va nota cu un număr identic cu numărul de ordine al tronsonului. Se începe cu 1 la un nod terminal, iar apoi se dă, la fiecare ramificaţie, câte un număr nodului şi respectiv tronsonului amonte, dar numai după ce au fost epuizate toate căile alimentate din ramificaţia considerată. Astfel, fiecare tronson are un număr de ordine şi este definit de un nod iniţial şi un nod final. Transformarea unei reţele inelare într-o reţea virtual ramificată se realizează cu una din metodele prezentate la pct. 3.3.4.1 şi are drept scop alegerea cu uşurinţă a sistemului de inele teoretice, independente, şi determinarea repartiţiei iniţiale a debitelor de tranzit pe artere prin calcul automat. Acestea se calculează recursiv, în ipoteza consumului egal repartizat la noduri, începând cu nodurile extreme ale reţelei ramificate de bază, iar pentru tronsoanele virtual suprimate din sistemul inelar debitele se consideră iniţial nule, urmând să fie corectate folosind proceduri de echilibrare sau de optimizare descrise la pct. 3.4.2.5, 3.4.2.6 şi 3.5.3.2. Pentru o variantă de extindere de reţea este obligatorie renumerotarea conductelor întregii reţele. Ca urmare aceeaşi conductă din reţeaua existentă va avea numere diferite în diverse variante de realizare a extinderii.

Programele elaborate rezolvă probleme de analiză şi proiectare pentru reţele cu configuraţie maximală de 300 tronsoane, 230 noduri şi 80 inele, putând fi extinse, cu mici modificări, chiar pentru dimensiuni mai mari ale acestora.

Introducerea datelor de intrare este adaptată opţional regimului de lucru, cu fişiere sau prin intermediul tastaturii, iar rezultatele furnizate de program se extrag fie numai pe ecran, fie pe ecran şi la imprimantă. Introducerea datelor în mod conversaţional prin

Scanned with OKEN Scanner

intermediul tastaturii este recomandată în cazul în care nu sunt multe date de intrare (reţele de dimensiuni mici). Un avantaj al citirii din fişier îl constitue posibilitatea modificării comode a unor date de intrare cu un editor de texte, pentru a urmări influenţa anumitor parametri asupra rezultatelor.

Fişierele de date utilizate în programele elaborate sunt sintetizate în tabelul 6.1, iar pentru documentarea referitoare la fiecare program s-a creat câte un fişier *readme.doc*.

Performanţele programelor de calcul şi valabilitatea consideraţiilor teoretice pe baza cărora s-au elaborat au fost testate şi validate prin aplicaţii numerice comparative cu procedee şi modele uzuale sau existente în literatura de specialitate.

Utilizarea programelor elaborate, în aplicaţiile practice de analiză sau de proiectare a reţelelor de alimentare cu apă cu consum redus de energie, a dovedit eficienţa lor deosebită (precizia sporită a calculelor, soluţii în general mai economice decât cele date de modelele tradiţionale).

Elaborarea programelor ordinatoare la un ridicat nivel de generalitate, precum şi utilizarea unor modele de calcul complexe asigură perspectiva continuării cercetării unor probleme noi sau a unor probleme deschise.

6.2. PARELF – CALCULUL VARIAŢIEI PARAMETRILOR HIDRAULICI λ_*, β AI RELAŢIEI FUNCŢIONALE A CONDUCTELOR

Programul PARELF este un program simplu cu 156 linii sursă, conceput pe baza relaţiilor (3.15), (3.19), (3.20), ce conţine o subrutină care efectuează calculul coeficientului de rezistenţă hidraulică liniară, pentru o conductă de diametru dat, în domeniul turbulenţei tranzitorii.

Se introduc ca date de intrare: date generale (numărul diametrelor considerate, temperatura apei, rugozitatea absolută iniţială, numărul anilor de exploatare a conductelor, viteza de creştere a rugozităţii); lista diametrelor luate în studiu.

Prin program se obţin valorile exponentului de debit β din relaţia funcţională (3.21) şi coeficientul λ_* de rezistenţă hidraulică a conductelor cu diametrele considerate. Acest program s-a utilizat la calculul variaţiei parametrilor λ_*, β în funcţie de viteza de creştere a rugozităţii pentru conducte din diverse materiale, cu durate de exploatare diferite, şi la temperaturi variabile ale apei.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.1

Fişierele de date utilizate în programele de calcul

Nr. crt.	Nume fişier	Date conţinute	Programul
0	1	2	3
1	*DIASTAN.dat*	lista diametrelor comerciale	REOPDERA, DIOPREDA, OPNELIRA, OPLIRA, ANOREC
2	*DATGENn.dat*	date generale (parametri economico-energetici)	ACIRECS, ACIREC ACIREV, ANOREC, ANOREV, REOPDERA, DIOPREDA, OPLIRA, OPNELIRA
3	*DEBALI(M)n.dat*	debitele de alimentare pe zone de consum	Idem
4	*LUNPAR(T)n.dat*	lungimile parţiale pe zone de consum	Idem
5	*CARTRO(N)n.dat*	caracteristicile tronsoanelor	Idem
6	*DEBCOG(E)n.dat*	caracteristicile nodurilor	ACIRECS, ACIREC, ACIREV, ANOREC, ANOREV, DIOPREDA,OPNELIRA, OPLIRA
7	*MATRIN(E)n.dat*	matricea inelelor	ACIRECS, ACIREC, ACIREV, REOPDERA, DIOPREDA, OPNELIRA, OPLIRA
8	*MATARBn.dat*	matricea arborilor principali	Idem
9	*COPISU(R)n.dat*	cotele piezometrice în punctele de alimentare	ACIRECS, ACIREC, ACIREV, DIOPREDA, OPLIRA
10	*NOBLIGn.dat*	nodurile obligate şi cotele piezometrice corespunzătoare	ANOREC, ANOREV, OPNELIRA
11	*COPIEZn.dat*	cotele piezometrice nodale	ANOREC, ANOREV
12	*DIAM.dat*	lista diametrelor luate în studiu	PARELF
13	*TRONSOB.dat*	tronsoanele obligate	ANOREC
14	*TROREHID.dat*	tronsoanele cu rezistenţe hidraulice cunoscute	ANOREC
15	*MATGRAF.dat*	matricea valorilor muchiilor grafului reţelei	OTREDIRA
16	*DEBCON.dat*	debitele concentrate în noduri	REOPDERA
17	*GAMA.dat*	valorile de studiu pentru exponentul g	REOPDERA
18	*DEBTRANZ.dat*	debitele de tranzit pe tronsoane	REOPDERA
19	*LUNTRON.dat*	lungimile tronsoanelor reţelelor din ansambluri de clădiri	DIOPREDA
20	*DEBAD.dat*	debitele adiţionale tronsoanelor	DIOPREDA
21	*MATRAS.dat*	matricea traseelor reţelelor ramificate	DIOPREDA
22	*DIADEB.dat*	matricea diametrelor preliminare	OPNELIRA
23	*VITECON.dat*	matricea vitezelor economice	OPLIRA
24	*DATIN.dat*	date specifice de intrare	AMPORIN

Scanned with OKEN Scanner

6.3. ACIRECS ŞI ACIREC – ANALIZA CICLICĂ A REŢELELOR ÎN FORMULARE CLASICĂ STANDARD ŞI PERFECŢIONATĂ

• *Domeniul de aplicabilitate.* Programele ordinatoare ACIRECS şi ACIREC sunt aplicabile reţelelor inelare, ramificate sau mixte, alimentate prin pompare sau gravitaţional de la una ori mai multe surse, care pot conţine pompe integrate de un anumit tip pe artere.

Ambele programe realizează determinarea circulaţiei debitelor şi a distribuţiei presiunilor în reţele complexe de distribuţie a apei, primul utilizând pentru rezolvarea ecuaţiilor de inel procedeul clasic Lobacev, adaptat în mod corespunzător pentru astfel de reţele, iar cel de-al doilea folosind o variantă îmbunătăţită a acestui procedeu.

Aceste programe permit analiza reţelelor inelare atât în situaţia în care se determină cotele piezometrice la nodurile de alimentare, astfel încât să se asigure presiunile de serviciu în nodurile de consum, cât şi atunci când aceste cote sunt cunoscute.

Programul ACIRECS oferă şi posibilitatea de a calcula valoarea criteriilor economice şi energetice la dimensionarea după metoda clasică a vitezelor medii economice.

• *Structura programelor.* Programele ACIRECS şi ACIREC conţin câte un program principal şi şase subprograme de tip subrutină, totalizând câte 754 şi respectiv 641 linii sursă. În figura 6.1 este prezentată organigrama programului ACIREC.

Ca date de intrare se introduc: datele generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NS, Δ, β, λ_*, A, B, C, NO, ZO, ITERM, EPS); parametrii economico-energetici (opţional şi numai în cadrul programului ACIRECS); lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod iniţial, nod final, număr de pompe integrate, diametru); matricea inelelor; matricea arborilor principali cuprinşi între punctele de alimentare şi nodul obligat; cotele piezometrice în punctele de alimentare cărora, atunci când sunt necunoscute, li se atribuie iniţial valoarea zero.

Ca principale rezultate se obţin: caracteristicile hidraulice după echilibrare (Q, S, h, V); cotele piezometrice nodale şi presiunile disponibile în noduri; consumul specific de energie pentru distribuţia apei; valoarea criteriilor economico–energetice (opţional şi numai la utilizarea programului ACIRECS).

Scanned with OKEN Scanner

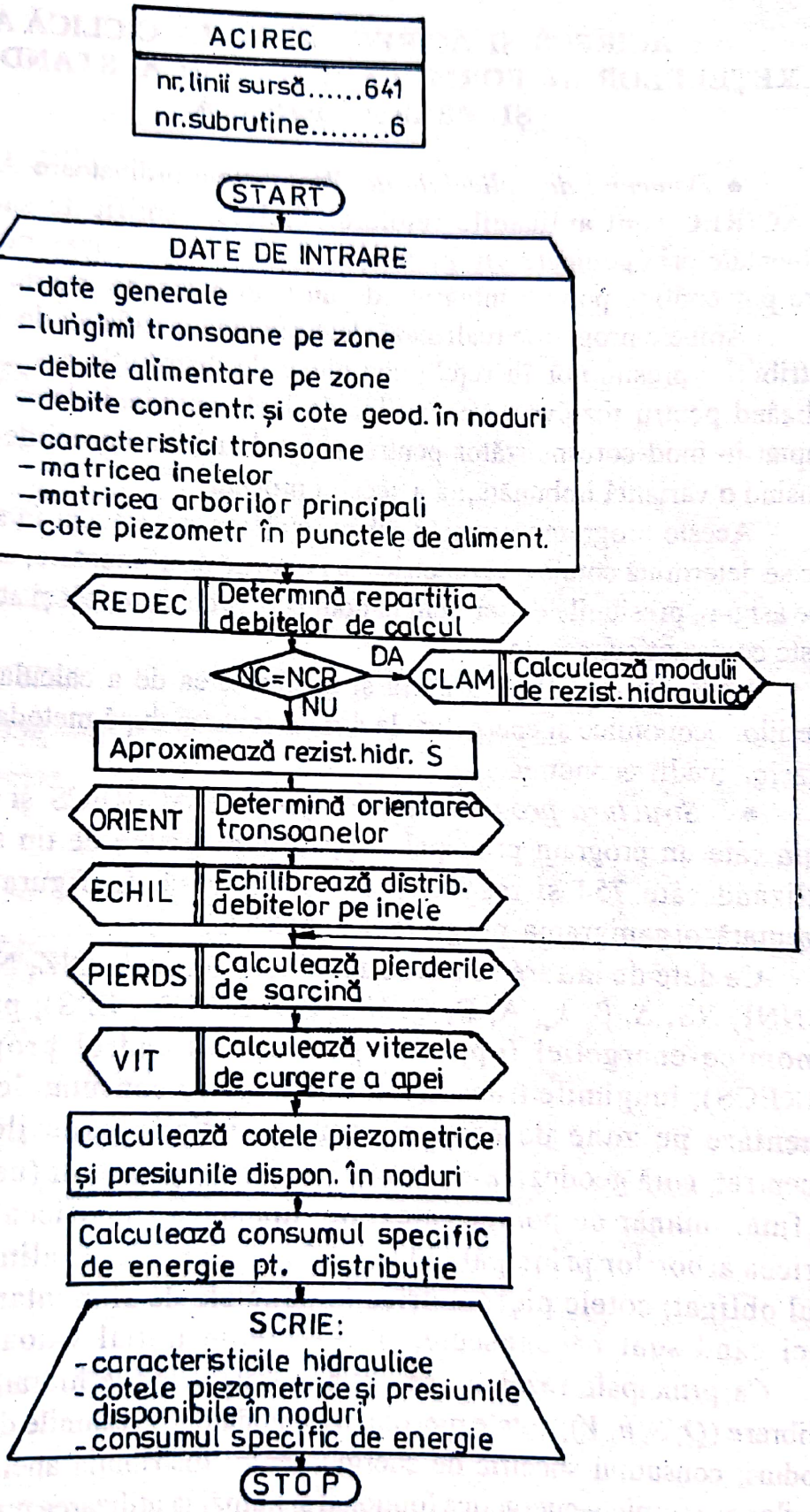


Fig. 6.1 – Organigrama programului ACIREC.

Scanned with OKEN Scanner

6. 4. ACIREV – ANALIZA CICLICĂ A REȚELELOR ÎN FORMULARE VARIAȚIONALĂ

• *Domeniul de aplicabilitate.* Programul ordinator ACIREV este aplicabil rețelelor inelare, ramificate sau mixte, alimentate prin pompare sau gravitațional de la una ori mai multe surse, și care pot conține pompe integrate de un anumit tip pe artere. Acesta realizează determinarea circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețele complexe, atât în situația în care se determină cotele piezometrice la nodurile de alimentare, cât și atunci când aceste cote sunt cunoscute, prin minimizarea directă a consumului energetic al rețelei cu ajutorul algoritmului specializat al gradienților conjugați.

• *Structura programului.* Programul de calcul ACIREV este un program modular compus dintr-o unitate principală și opt proceduri de tip subrutină, totalizând 896 linii sursă și având organigrama redată în figura 6.2.

Datele de intrare sunt: datele generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NS, Δ, β, λ_*, A, B, C, NO, ZO, LIM, EPS); lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, număr de pompe integrate, diametru); matricea inelelor; matricea arborilor principali cuprinși între punctele de alimentare și nodul obligat; cotele piezometrice în punctele de alimentare cărora, atunci când sunt necunoscute, li se atribuie inițial valoarea zero.

Rezultatele furnizate de program sunt: caracteristicile hidraulice după echilibrare (Q, S, h, V); cotele piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri; consumul specific de energie pentru distribuția apei.

6.5. ANOREC – ANALIZA NODALĂ A REȚELELOR INELARE ÎN FORMULARE CLASICĂ

• *Domeniul de aplicabilitate.* Programul ordinator ANOREC realizează determinarea circulației debitelor și distribuției presiunilor sau identificarea rezistențelor hidraulice ale conductelor, utilizând pentru rezolvarea ecuațiilor nodale algoritmul numeric Newton–Raphson, și este aplicabil rețelelor inelare alimentate prin pompare sau gravitațional de la una sau mai multe surse, rețele ce pot conține pe artere pompe integrate de un anumit tip (cu presiunea activă cunoscută).

Acest program permite analiza rețelelor inelare complexe, atât în situația în care se determină cotele piezometrice în punctele de alimentare astfel încât să se asigure presiunile de serviciu în nodurile de consum, cât și atunci când aceste cote sunt cunoscute.

Scanned with OKEN Scanner

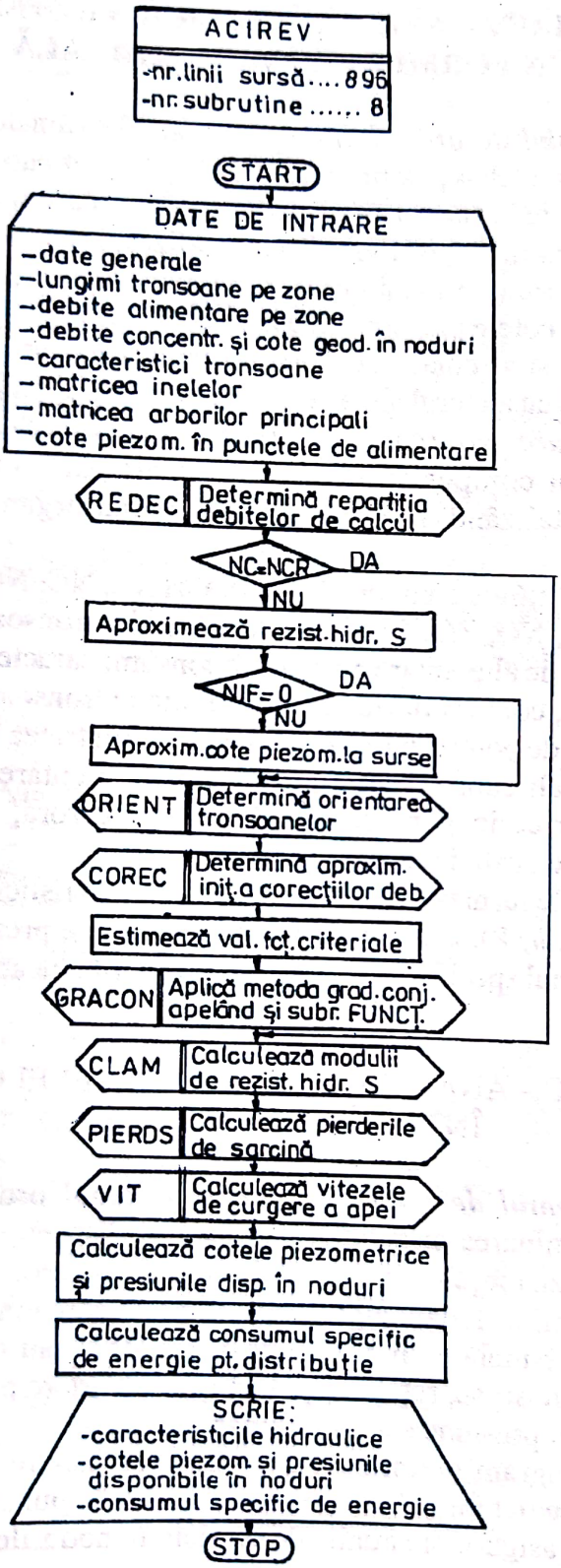


Fig. 6.2 – Organigrama programului ACIREV.

Scanned with OKEN Scanner

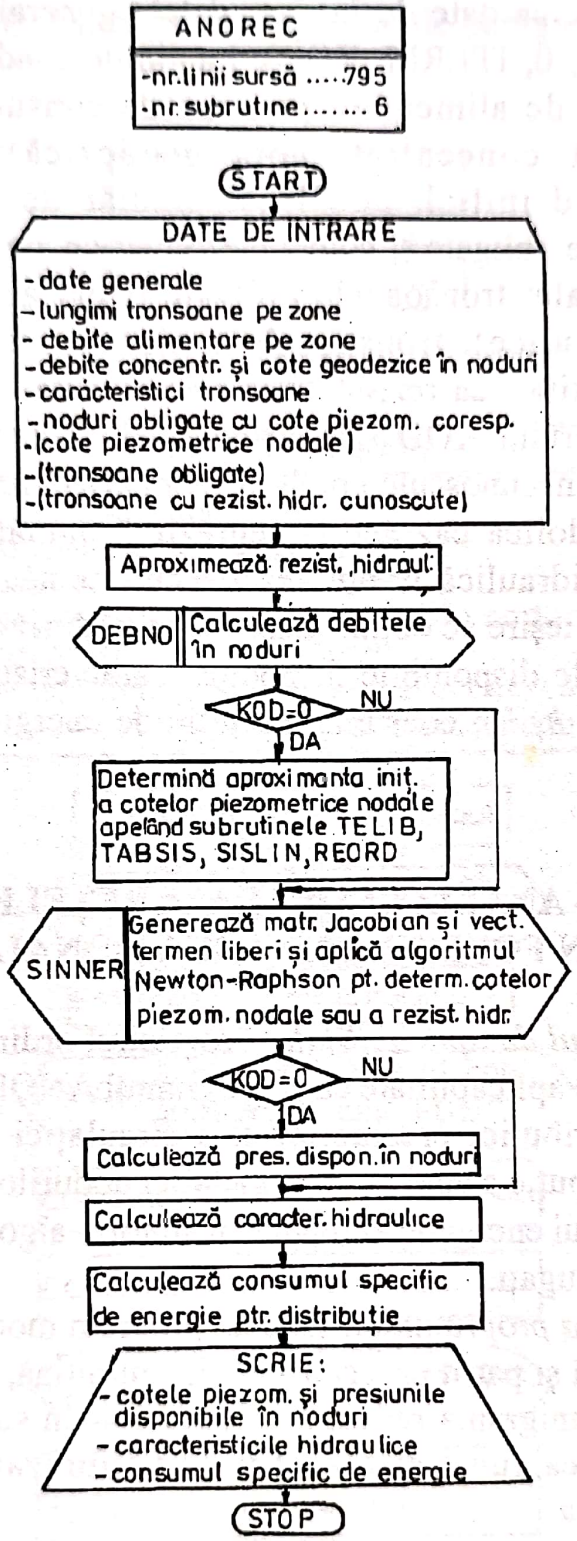


Fig. 6.3 – Organigrama programului ANOREC.

• *Structura programului*. Este constituit dintr-o unitate principală şi şase subrutine, totalizând 795 linii sursă şi având organigrama prezentată în figura 6.3. Subrutinele TELIB şi TABSIS determină vectorul termenilor liberi şi respectiv matricea coeficienţilor sistemului liniar, iar subrutina SISLIN efectuează rezolvarea acestui sistem. Subrutina REORD realizează reordonarea necunoscutelor sistemului neliniar.

Scanned with OKEN Scanner

Se introduc ca date de intrare: datele generale (NZ, NC, NCR, NS, β, λ_*, ω, EPS, θ, ITERM, KOD); lungimile conductelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod iniţial, nod final, număr de pompe integrate, diametru); nodurile obligate şi cotele piezometrice ale acestora sau cotele piezometrice nodale; tronsoanele obligate (când apar ca necunoscute rezistenţele hidraulice); tronsoanele critice, cu rezistenţe hidraulice cunoscute (la identificarea rezistenţelor necunoscute).

Identificatorului KOD i se atribuie valoarea 0, respectiv NI-NS, după cum apar ca necunoscute cotele piezometrice, respectiv rezistenţele hidraulice; în al doilea caz acesta reprezintă numărul de tronsoane a căror rezistenţă hidraulică trebuie să fie cunoscută.

Ca date de ieşire se obţin: debitele în noduri; cotele piezometrice nodale şi presiunile disponibile în noduri; caracteristicile hidraulice ale conductelor (Q, S, h, V); consumul specific de energie pentru distribuţia apei în reţea.

6. 6. ANOREV – ANALIZA NODALĂ A REŢELELOR INELARE ÎN FORMULARE VARIAŢIONALĂ

- *Domeniul de aplicabilitate*. Programul ordinator ANOREV are acelaşi domeniu de aplicabilitate ca şi programul ANOREC, realizând însă determinarea distribuţiei presiunilor şi a circulaţiei debitelor în reţele complexe de distribuţie a apei pe baza metodei nodurilor, prin minimizarea directă a consumului energetic al reţelei cu ajutorul algoritmului specializat al gradienţilor conjugaţi.

- *Structura programului*. Este un program modular compus dintr-o unitate principală şi patru proceduri de tip subrutină, totalizând 657 linii sursă şi având organigrama redată în figura 6.4. În subrutina FUNCT se calculează valoarea funcţiei obiectiv de minimizat şi componentele gradienţilor acesteia.

Ca date de intrare se introduc: datele generale (NZ, NC, NCR, NS, Δ, β, λ_*, LIM, EPS); lungimile conductelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod iniţial, nod final, presiune activă a staţiei de pompare integrate, diametru); nodurile obligate şi cotele piezometrice ale acestora; aproximanta iniţială a cotelor piezometrice nodale.

Rezultatele furnizate sunt: debitele în noduri; cotele piezometrice nodale şi presiunile disponibile în noduri; caracteristicile hidraulice ale

Scanned with OKEN Scanner

conductelor (Q, S, h, V); consumul specific de energie pentru distribuţia apei în reţea.

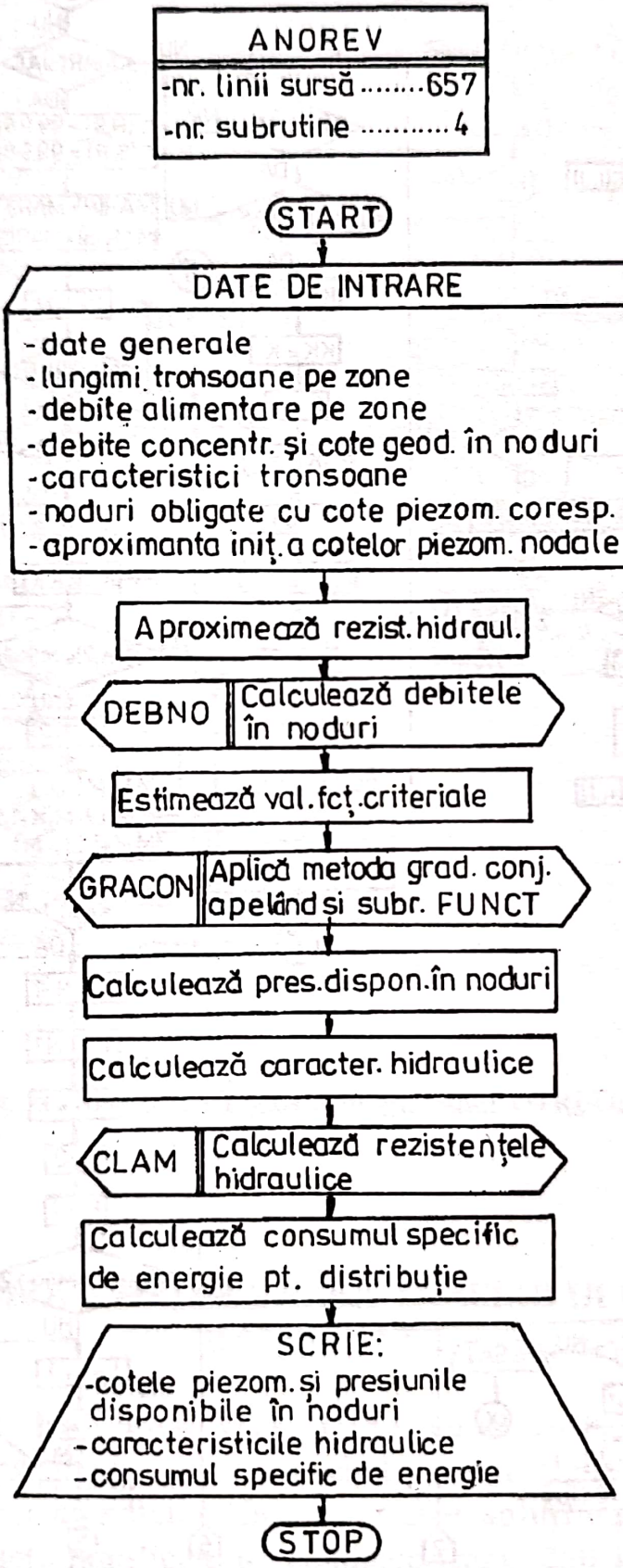
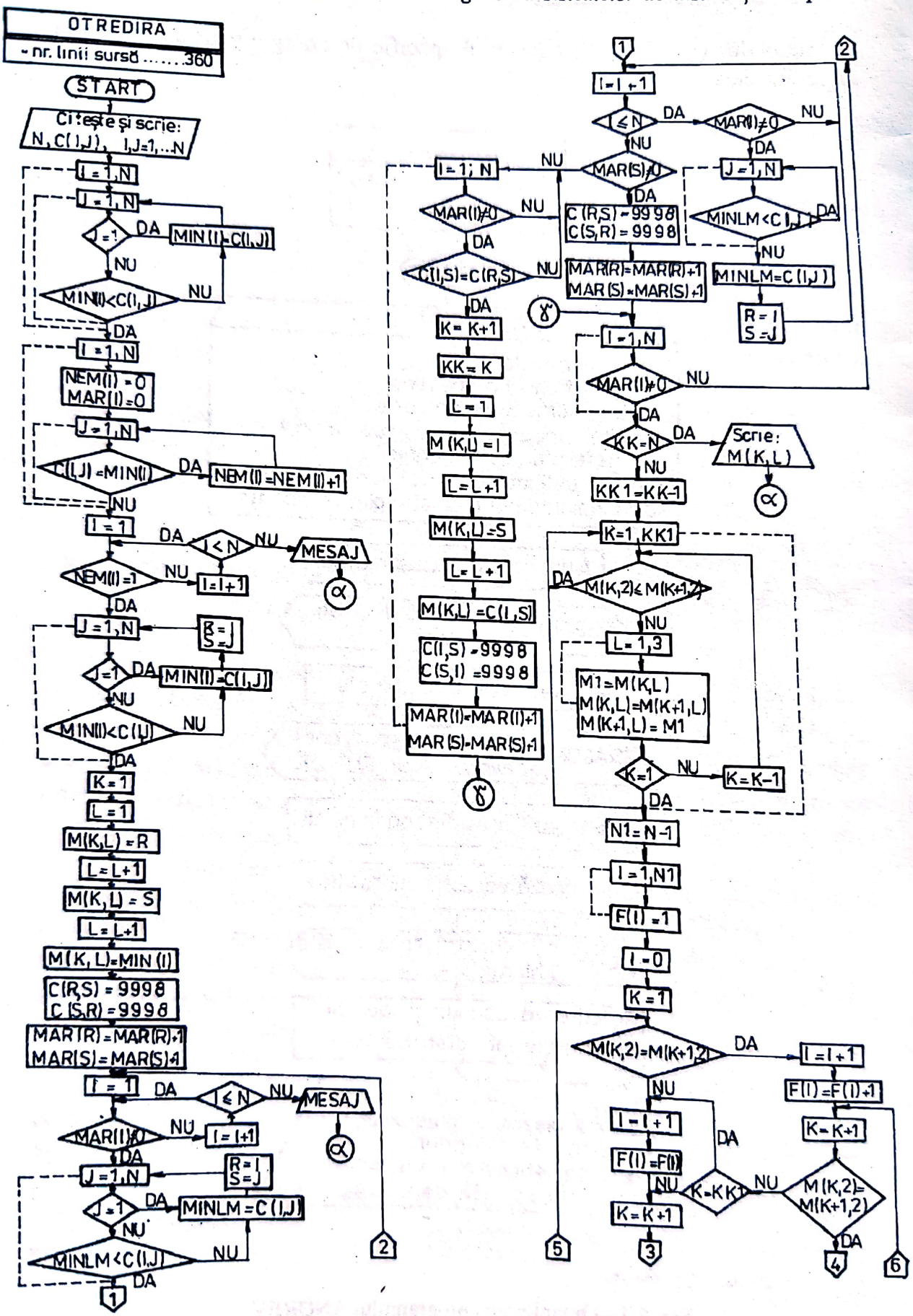


Fig. 6.4 – Organigrama programului ANOREV.

Scanned with OKEN Scanner


OTREDIRA
- nr. linii sursă 360
START
Citește și scrie: N, C(I,J), I,J=1,...N
I=1,N
J=1,N
J=1
DA
MIN(I)=C(I,J)
NU
MIN(I)<C(I,J)
NU
DA
I=1,N
NEM(I)=0
MAR(I)=0
J=1,N
C(I,J)=MIN(I)
DA
NEM(I)=NEM(I)+1
NU
I=1
DA
I<N
NU
MESAJ
NEM(I)=1
NU
I=I+1
DA
J=1,N
R=I
S=J
J=1
DA
MIN(I)=C(I,J)
NU
MIN(I)<C(I,J)
NU
DA
K=1
L=1
M(K,L)=R
L=L+1
M(K,L)=S
L=L+1
M(K,L)=MIN(I)
C(R,S)=9998
C(S,R)=9998
MAR(R)=MAR(R)+1
MAR(S)=MAR(S)+1
I=1
DA
I≤N
NU
MESAJ
MAR(I)≠0
NU
I=I+1
DA
J=1,N
R=I
S=J
J=1
DA
MINLM=C(I,J)
NU
MINLM<C(I,J)
NU
DA
1
2
I=I+1
I≤N
DA
NU
MAR(I)≠0
NU
DA
J=1,N
MINLM<C(I,J)
DA
NU
MINLM=C(I,J)
R=I
S=J
MAR(S)≠0
NU
DA
C(R,S)=9998
C(S,R)=9998
MAR(R)=MAR(R)+1
MAR(S)=MAR(S)+1
I=1;N
NU
MAR(I)≠0
NU
DA
C(I,S)=C(R,S)
NU
DA
K=K+1
KK=K
L=1
M(K,L)=I
L=L+1
M(K,L)=S
L=L+1
M(K,L)=C(I,S)
C(I,S)=9998
C(S,I)=9998
MAR(I)=MAR(I)+1
MAR(S)=MAR(S)+1
I=1,N
MAR(I)≠0
NU
DA
KK=N
DA
Scrie: M(K,L)
NU
KK1=KK-1
K=1,KK1
DA
M(K,2)≤M(K+1,2)
NU
L=1,3
M1=M(K,L)
M(K,L)=M(K+1,L)
M(K+1,L)=M1
K=1
NU
K=K-1
DA
N1=N-1
I=1,N1
F(I)=1
I=0
K=1
M(K,2)=M(K+1,2)
DA
I=I+1
F(I)=F(I)+1
K=K+1
NU
I=I+1
F(I)=F(I)
K=K+1
DA
K=KK1
NU
M(K,2)=M(K+1,2)
DA
NU
3
4
5
6

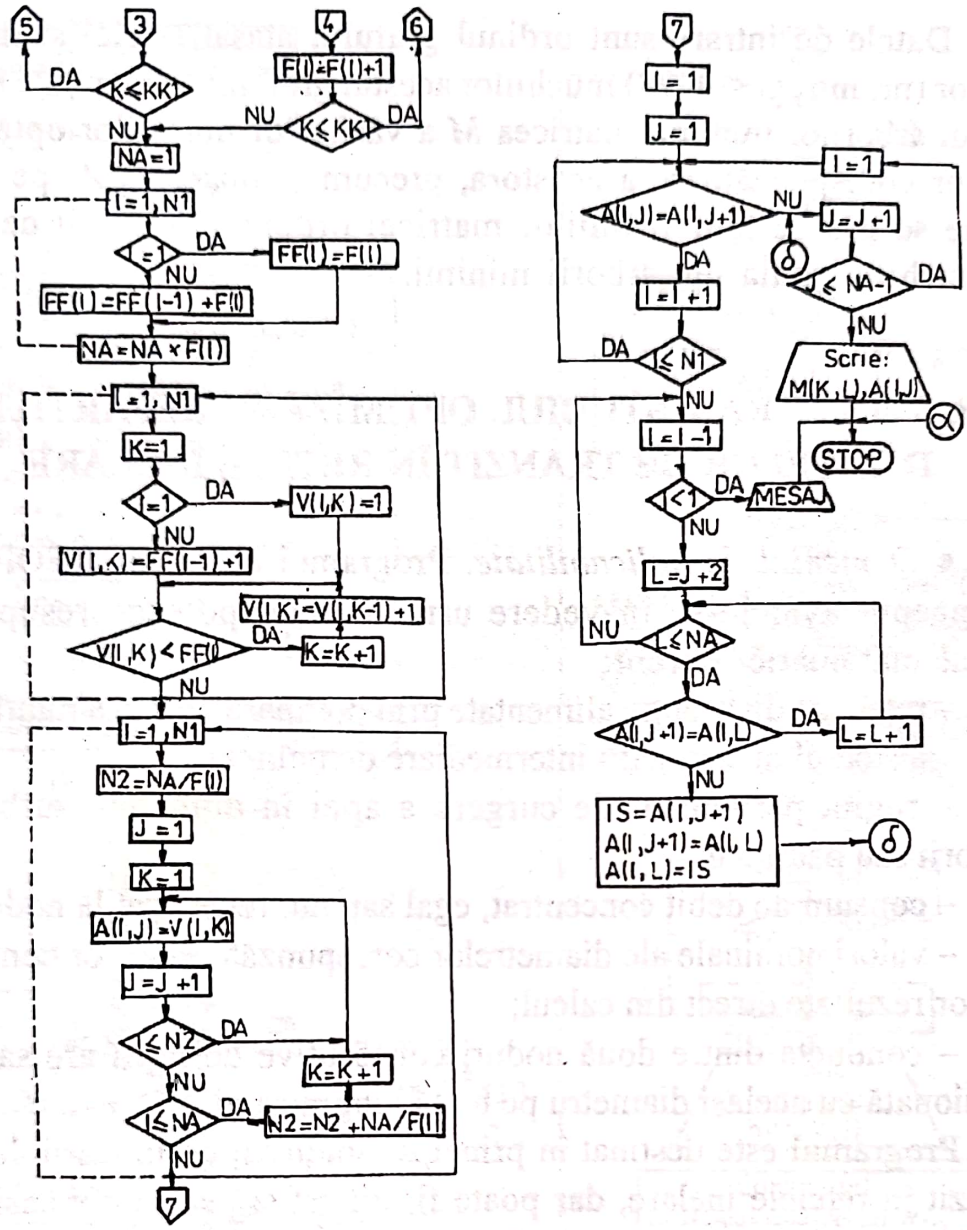


Fig. 6.5 – Schema logică a programului OTREDIRA.

6.7. OTREDIRA – OPTIMIZAREA TRASEULUI REŢELELOR RAMIFICATE

Programul de calcul OTREDIRA cu schema logică din figura 6.5, având 360 linii sursă, este conceput pe baza algoritmului descris la pct. 3.5.2 şi permite determinarea tuturor soluţiilor optime pentru traseul unei reţele ramificate de conducte (max. 250 noduri), după un anumit criteriu de optimizare adoptat.

Scanned with OKEN Scanner

Datele de intrare sunt ordinul grafului ataşat reţelei şi matricea valorilor (nr. întregi < 9998) muchiilor acestui graf, iar ca rezultate se obţin numărul arborilor minimi, matricea M a vârfurilor muchiilor optime şi a valorilor corespunzătoare a acestora, precum şi matricea A, pe a cărei coloane se găsesc indicii liniilor matricei ordonate M, linii ce conţin deci muchiile unuia din arborii minimi.

6.8. REOPDERA – STUDIUL OPTIMIZĂRII REPARTIŢIEI DEBITELOR DE TRANZIT ÎN REŢELE INELARE

• *Domeniul de aplicabilitate.* Programul ordinator REOPDERA s-a conceput avându-se în vedere următoarele ipoteze presupuse de modelul matematic aferent:

– reţele de distribuţie alimentate prin pompare de la o singură sursă;

– sistemul nu are staţii intermediare de pompare;

– regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulenţei tranzitorii sau pătratice;

– consum de debit concentrat, egal sau nu, repartizat la noduri;

– valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor comerciale sau celor rezultate direct din calcul;

– conducta dintre două noduri consecutive de reţea are sau va fi dimensionată cu acelaşi diametru pe toată lungimea ei.

Programul este destinat în principal studiului optimizării debitelor de tranzit în reţelele inelare, dar poate fi utilizat şi pentru dimensionarea optimală a acestora sau a extinderilor de reţele, în situaţia în care trebuie determinată înălţimea de pompare.

• *Structura programului.* Programul de calcul, cu organigrama prezentată în figura 6.6, este compus dintr-o unitate principală care apelează nouă subrutine şi totalizează 890 linii sursă.

Datele introduse la intrare sunt: datele generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NNT, NDS, NG, Δ, λ_*, β, WMIN, H0, ITERM, EPS); parametrii economico-energetici (a, b, α, p_1, p_2, T_r, η, f, σ, τ, Φ, e, T_c); valorile exponentului γ; lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; debitele concentrate în noduri; caracteristicile tronsoanelor (nod iniţial, nod final, coeficient de penalizare pentru diametru impus); matricea inelelor; matricea arborelui principal, cuprins între punctul de alimentare şi rezervorul de capăt sau nodul obligat.

Scanned with OKEN Scanner

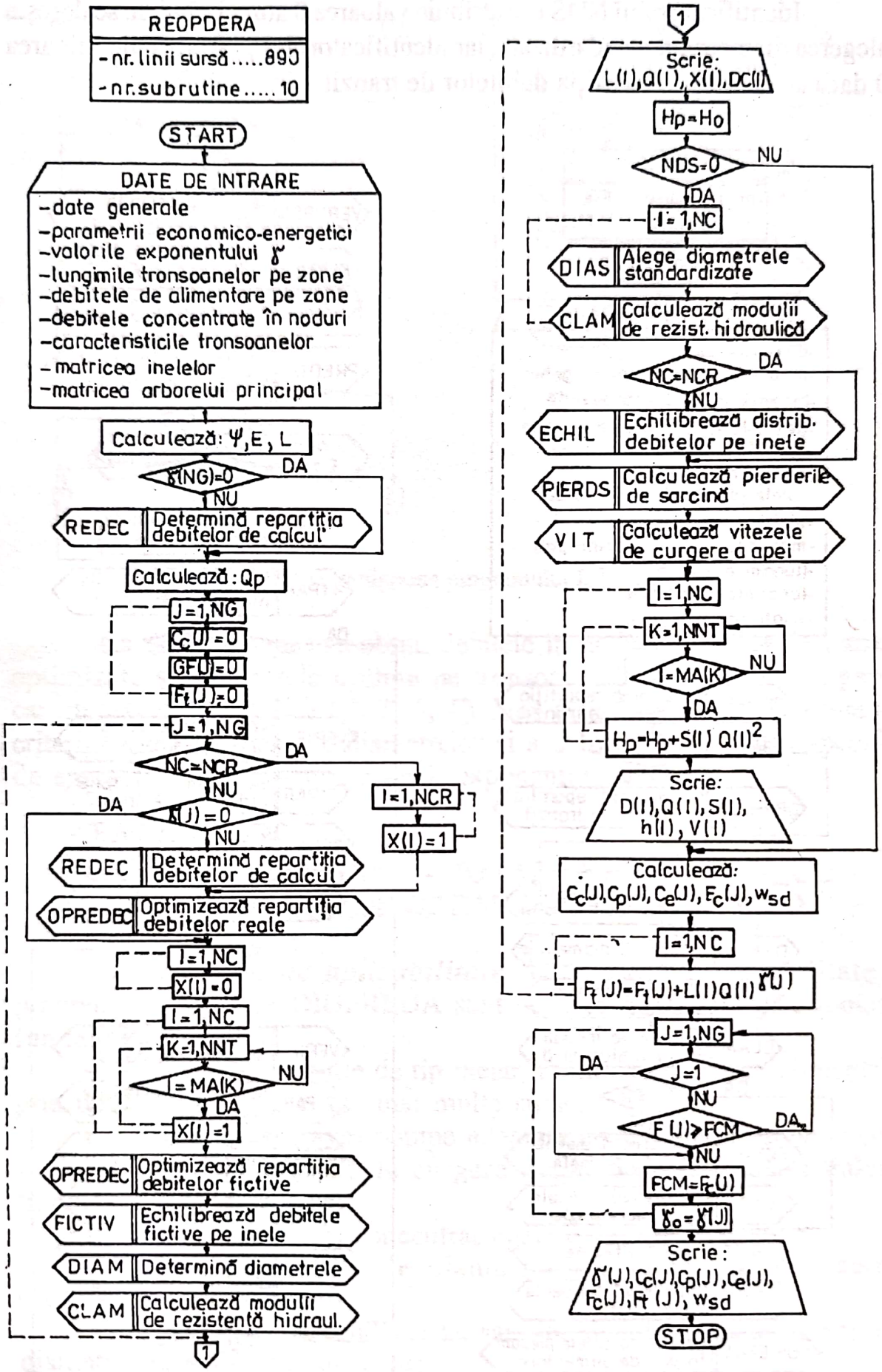
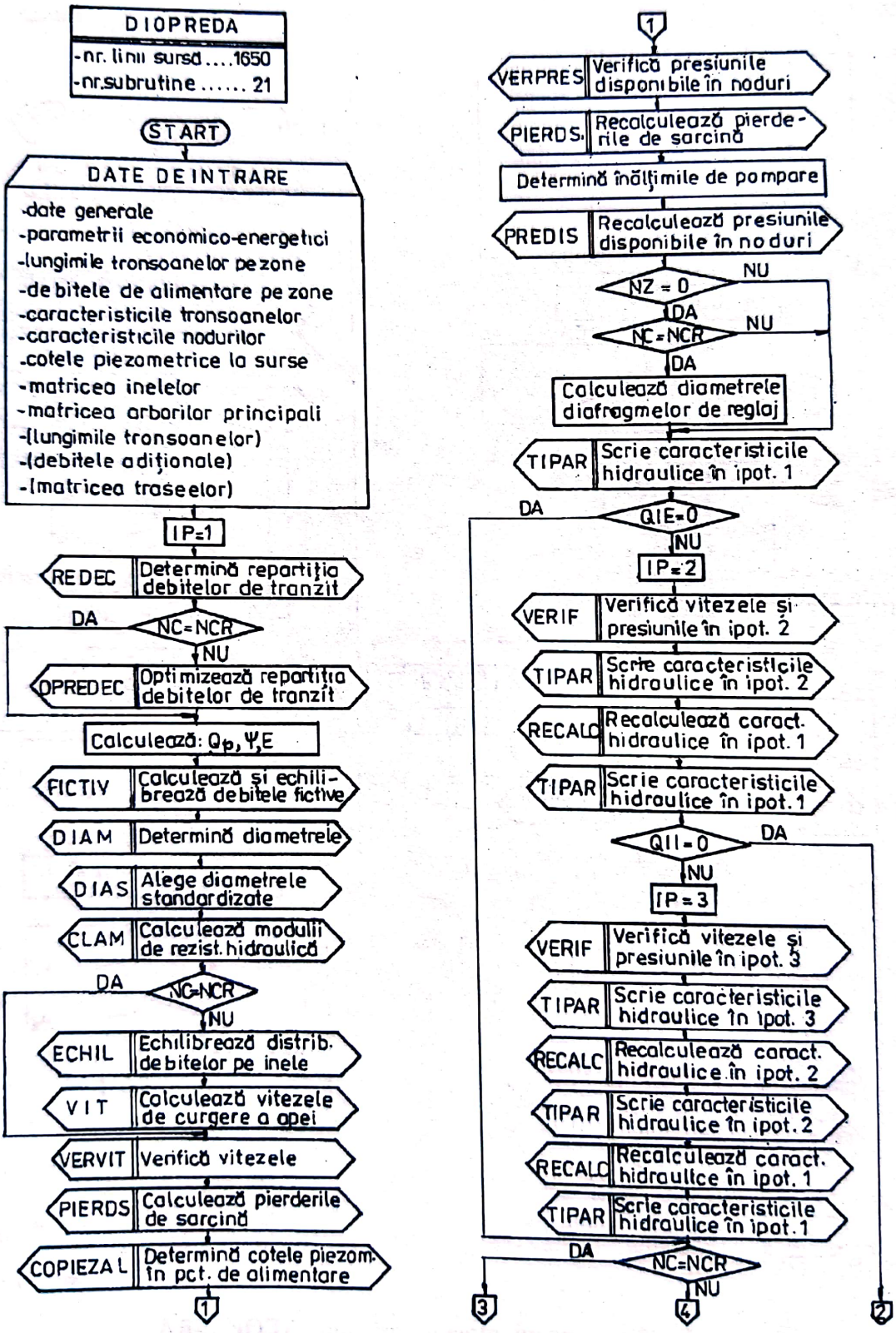


Fig. 6.6 – Organigrama programului REOPDERA.

Identificatorului NDS i se atribuie valoarea 0 atunci când nu se doreşte alegerea diametrelor standardizate, iar identificatorului γ i se atribuie valoarea 0 dacă se cunoaşte repartiţia debitelor de tranzit.



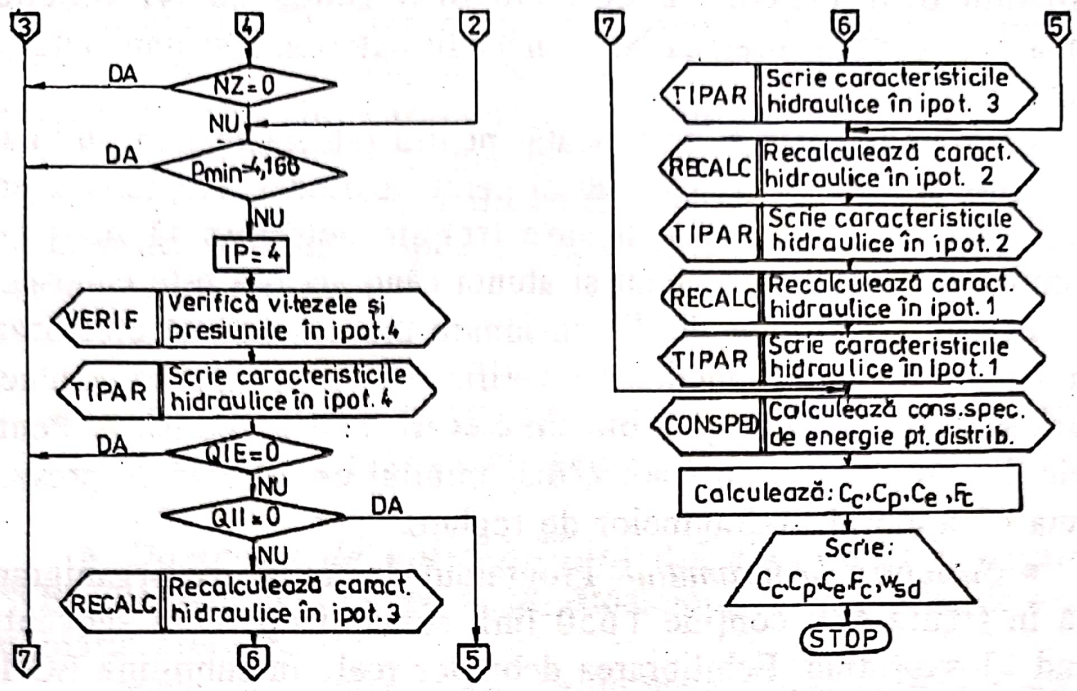


Fig. 6.7 – Organigrama programului DIOPREDA.

Ca date de ieşire se obţin: debitele în noduri; debitele de tranzit optimizate şi diametrele optime pe tronsoane; înălţimea de pompare; caracteristicile hidraulice (Q, S, h, V) după echilibrarea reţelei; valoarea criteriilor de optimizare a diametrelor şi a debitelor; consumul specific de energie pentru distribuţia apei; exponentul optim γ_o.

6. 9. DIOPREDA – DIMENSIONAREA REŢELELOR CU MODELUL DE OPTIMIZARE MOŞNIN

• *Domeniul de aplicabilitate*. Limitele de aplicabilitate a programului complex DIOPREDA sunt definite de următoarele ipoteze fundamentale:

– reţele de distribuţie de tip inelar, ramificat sau mixt, alimentate prin pompare de la una sau mai multe surse;

– sistemul poate avea pompe integrate de un anumit tip pe artere;

– regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulent tranzitoriu sau pătratic;

– consum de debit concentrat egal repartizat la noduri;

– valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor standardizate;

– tronsoanele de conducte au sau vor fi dimensionate cu acelaşi diametru pe toată lungimea lor;

– posibilitatea considerării a mai multor regimuri de funcţionare

(1–consum orar maxim, 2–consum orar redus cu NI incendii exterioare, 3–consum orar cu NI-1 incendii exterioare şi unul interior, 4-tranzit maxim).

Programul poate fi aplicat atât pentru dimensionarea optimală, după MOM, a unei noi reţele, cât şi pentru extinderea optimă a unei reţele existente, în situaţia în care trebuie determinată înălţimea (înălţimile) de pompare, precum şi atunci când aceasta este cunoscută.

În urma calculelor de dimensionare propriu-zisă se efectuează, pentru fiecare regim de funcţionare, verificarea vitezei apei în conducte, precum şi a presiunii disponibile în fiecare nod de consum. Pentru reţelele din ansambluri de clădiri, disponibilul excedentar de presiune se preia cu ajutorul diafragmelor de reglare.

• *Structura programului.* Programul de calcul are organigrama redată în figura 6.7, conţine 1 650 linii sursă şi operează secvenţial apelând 21 subrutine. Echilibrarea debitelor reale în subrutina ECHIL se efectuează pe baza metodei ciclurilor în formulare clasică perfecţionată. Subrutinele VERIF şi RECALC sunt destinate verificării şi respectiv recalculării caracteristicilor hidraulice pentru regimurile de funcţionare considerate, iar în subrutinele REPDIS şi PREDIAF se efectuează recalcularea presiunilor disponibile la consumatorii reţelelor ramificate din ansambluri de clădiri fără şi respectiv cu diafragmare.

Datele de intrare sunt: datele generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NS, NNT, NDS, NO, QII, QIE, A0, CO, PMIN, Δ, β, λ*, A, B, C, VMIN, VMAX1, VMAX2, NT, ZIPP, EPS); parametri economico-energetici (a, b, α, p_1, p_2, T_r, η, f, σ, τ, Φ, e, T_c); lungimile parţiale ale tronsoanelor şi debitele de alimentare pe zone de consum, pentru reţelele localităţilor, sau lungimile şi debitele adiţionale tronsoanelor care alimentează direct clădiri sau grupuri de clădiri de acelaşi fel, determinate pe baza sumei de echivalenţi pentru reţelele ansamblurilor de clădiri; caracteristicile tronsoanelor (nod iniţial, nod final, număr de pompe integrate, diametru impus); caracteristicile nodurilor (cotă geodezică, presiuni necesare şi debite concentrate pentru fiecare ipoteză de funcţionare); cotele piezometrice în punctele de alimentare, când acestea se aleg apriori; matricea inelelor şi matricea arborilor principali (pentru reţele inelare); matricea traseelor (pentru reţele ramificate).

Pentru o reţea dintr-un ansamblu de clădiri, indentificatorului NZ i se atribuie valoarea 0, iar atunci când cotele piezometrice în punctele de alimentare nu se cunosc, acestora li se atribuie, iniţial, de asemenea valoarea 0.

Scanned with OKEN Scanner

Programul furnizează: debitul pompat în reţea; înălţimile de pompare la staţiile de pompare exterioare; debitele de calcul optimizate; diametrele optimale; caracteristicile hidraulice (Q, S, h, V) ale conductelor şi presiunile disponibile în noduri pentru fiecare ipoteză de funcţionare; diametrele diafragmelor de reglaj; valoarea criteriilor de optimizare; consumul specific de energie pentru distribuţia apei în reţea.

6.10. OPNELIRA – DIMENSIONAREA REŢELELOR CU MODELUL DE OPTIMIZARE NELINIARĂ

• *Domeniul de aplicabilitate.* La elaborarea programului OPNELIRA s-au avut în vedere următoarele ipoteze impuse de modelul matematic aferent:

– reţele de distribuţie doar de tip inelar, alimentate prin pompare de la una sau mai multe surse;

– sistemul poate avea pompe integrate de un anumit tip pe artere;

– regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulenţei tranzitorii sau pătratice;

– consum de debit concentrat egal repartizat la noduri;

– valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor standardizate;

– tronsoanele de conducte se dimensionează cu acelaşi diametru pe toată lungimea lor.

Programul poate fi aplicat la dimensionarea optimală, după MON, a unei reţele noi în situaţia în care trebuie determinate cotele piezometrice în punctele de alimentare.

• *Structura programului.* Programul OPNELIRA, cu organigrama din figura 6.8, conţine o unitate principală şi nouă proceduri de tip subrutină, totalizând 1 027 linii sursă.

Ca date de intrare se introduc: datele generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NS, NNT, NDS, Δ, β, λ_*, A, B, C, WMIN, ITERM, EPS); parametrii economico-energetici (a, b, α, p_1, p_2, T_r, η, f, σ, τ, Φ, e, T_c); lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod iniţial, nod final, număr de pompe integrate); matricea inelelor; matricea arborilor principali; cotele piezometrice în nodurile obligate.

Principalele rezultate furnizate de program sunt: debitele de tranzit optimizate; diametrele optime; caracteristicile hidraulice (Q, S, h, V); cotele piezometrice şi presiunile disponibile în noduri; valoarea criteriilor de optimizare; energia specifică pentru distribuţia apei în reţea.

Scanned with OKEN Scanner

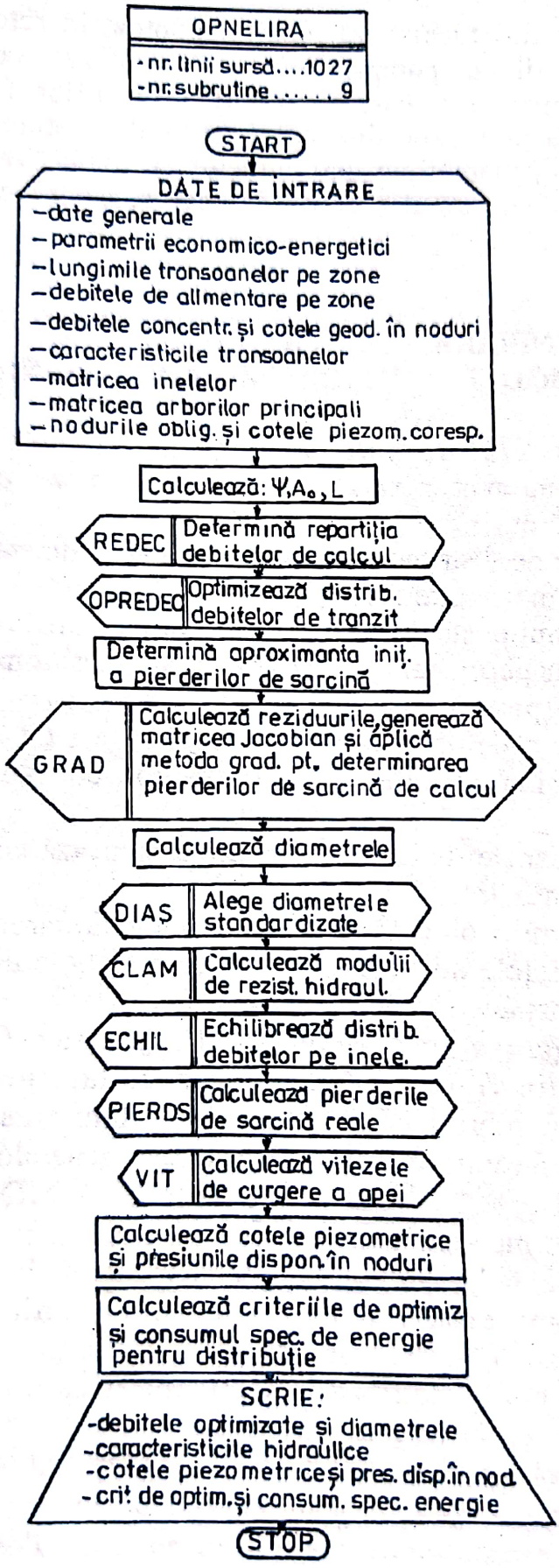


Fig. 6.8 – Organigrama programului OPNELIRA.

Scanned with OKEN Scanner

6.11. OPLIRA – DIMENSIONAREA REŢELELOR CU MODELUL DE OPTIMIZARE LINIARĂ

• *Domeniul de aplicabilitate.* Limitele de aplicabilitate ale programului OPLIRA sunt definite de ipotezele luate în considerare la elaborare:

– reţele de distribuţie de tip inelar, ramificat sau mixt, alimentate prin pompare sau gravitaţional de la una sau mai multe surse;

– sistemul poate conţine pompe integrate de un anumit tip pe artere;

– regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulenţei tranzitorii sau pătratice;

– valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor comerciale;

– conducta dintre două noduri consecutive de reţea se dimensionează cu unul sau mai multe diametre pe toată lungimea ei, putând avea şi diametru cunoscut (impus).

– cotele piezometrice în nodurile de alimentare se determină prin procesul de optimizare sau sunt cunoscute apriori;

– posibilitatea considerării a mai multor ipoteze de funcţionare.

Programul poate fi aplicat atât pentru dimensionarea optimală, după MOL, a unei reţele noi, cât şi pentru extinderea optimă a unei reţele existente. El permite determinarea unei repartiţii optime a diametrelor comerciale pe fiecare tronson al reţelei şi a lungimii sectoarelor de tronsoane corespunzătoare acestor diametre şi oferă posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit. Se stabilesc astfel, mai precis, pierderile de energie în sistem şi parametrii staţiilor de pompare şi se asigură în special o distribuţie mai uniformă a energiei de pompare.

• *Structura programului.* Programul OPLIRA, cu organigrama prezentată în figura 6.9, operează secvenţial, apelând 17 subrutine, şi conţine 1 799 linii sursă.

În subrutina PIERDS se determină pierderile de sarcină specifice, parametrul consumului Θ_i şi parametrul caracteristic fiecărui sector de tronson $\Omega_{k,i}$, iar în subrutina PIERVIT se calculează pierderile de presiune şi vitezele apei în conducte.

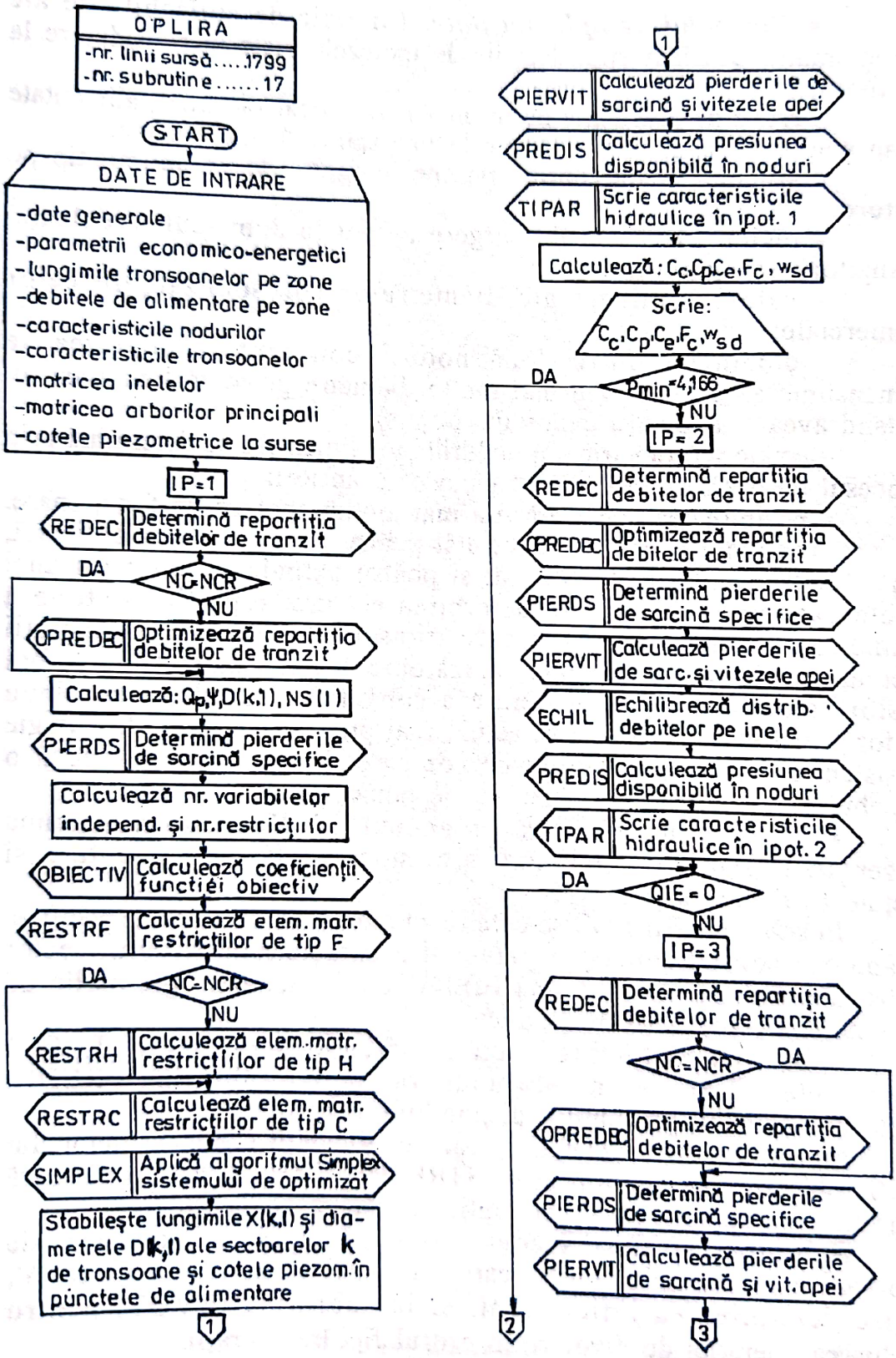
Subrutina SUMOMEJ determină suma produselor $(J_{k,i} \cdot \Omega_{k,i})$ pentru cele NT tronsoane ale unui traseu, iar subrutina PREDIS efectuează calculul presiunilor disponibile în noduri.

Subrutina OBIECTIV generează coeficienţii necunoscutelor din funcţia obiectiv, iar subrutinele RESTRF, RESTRH, RESRC generează restricţiile de tip funcţional, hidraulic şi respectiv constructiv.

Subrutina SIMPLEX conţine algoritmul Simplex primal de rezolvare a programului liniar, care face apel la subrutina COLPIV, pentru determinarea liniei pivot, şi la subrutina PIVOT, pentru efectuarea operaţiei de pivotare în cadrul fiecărei iteraţii.

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul subrutinei TIPAR de scriu rezultatele pentru fiecare ipoteză de funcţionare.



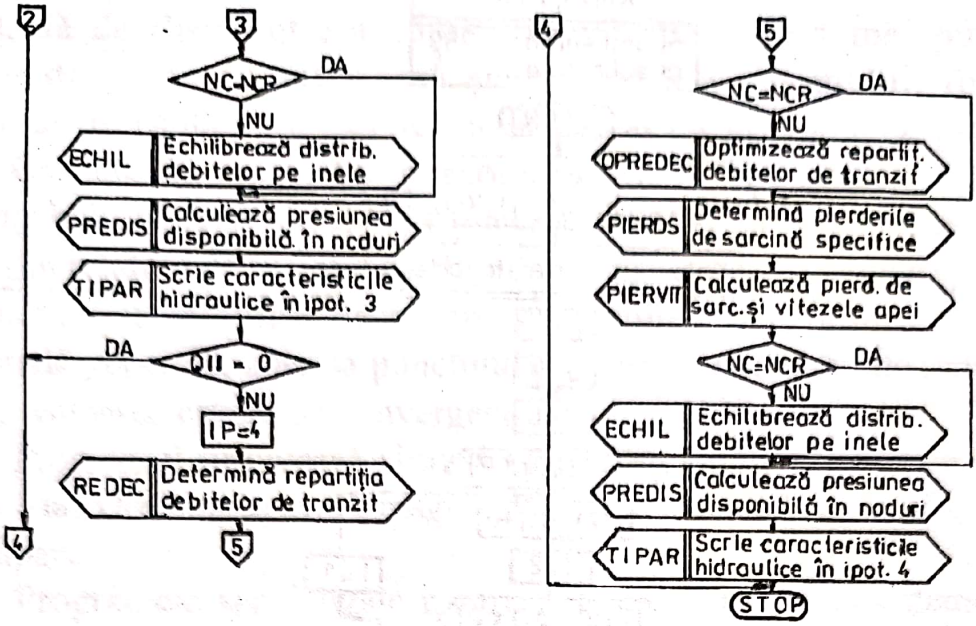


Fig. 6.9 – Organigrama programului OPLIRA.

Se introduc ca date de intrare: datele generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NIPP, NNT, NDS, Δ, β, λ_*, NO, ZO1, ZO2, A, B, C, WMIN, QII, QIE, A0, CO, PMIN, α_o); parametrii economico-energetici (a, b, α, p_1, p_2, T_r, η, f, σ, τ, Φ, e, T_c, E_{min}, E_{max}); lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (cotă geodezică, debit concentrat pentru fiecare ipoteză de funcţionare); caracteristicile tronsoanelor (nod iniţial, nod final, număr de pompe integrate, diametru impus); matricea inelelor; matricea arborilor principali; cotele piezometrice în nodurile de alimentare, dacă sunt cunoscute apriori.

Ca principale date de ieşire se obţin: debitul total introdus în retea; debitele de tranzit optimizate; repartiţia optimă a diametrelor comerciale pe fiecare tronson şi lungimile sectoarelor de tronsoane corespunzătoare acestor diametre; caracteristicile hidraulice (Q, h, V) ale sectoarelor de tronsoane; cotele piezometrice şi presiunile disponibile în noduri pentru fiecare ipoteză de funcţionare; valoarea funcţiilor de optimizare; consumul specific de energie pentru distribuţia apei în reţea.

6.12. AMPORIN – DETERMINAREA AMPLASAMENTULUI OPTIM AL UNUI REZERVOR ZONAL

Programul de calcul AMPORIN, cu schema logică din figura 6.10, conţine 259 linii sursă şi este conceput pe baza modelului matematic descris la pct. 4.5.2.1 pentru determinarea amplasamentului optim al unui rezervor subteran cuplat cu o staţie de pompare interioară pe o

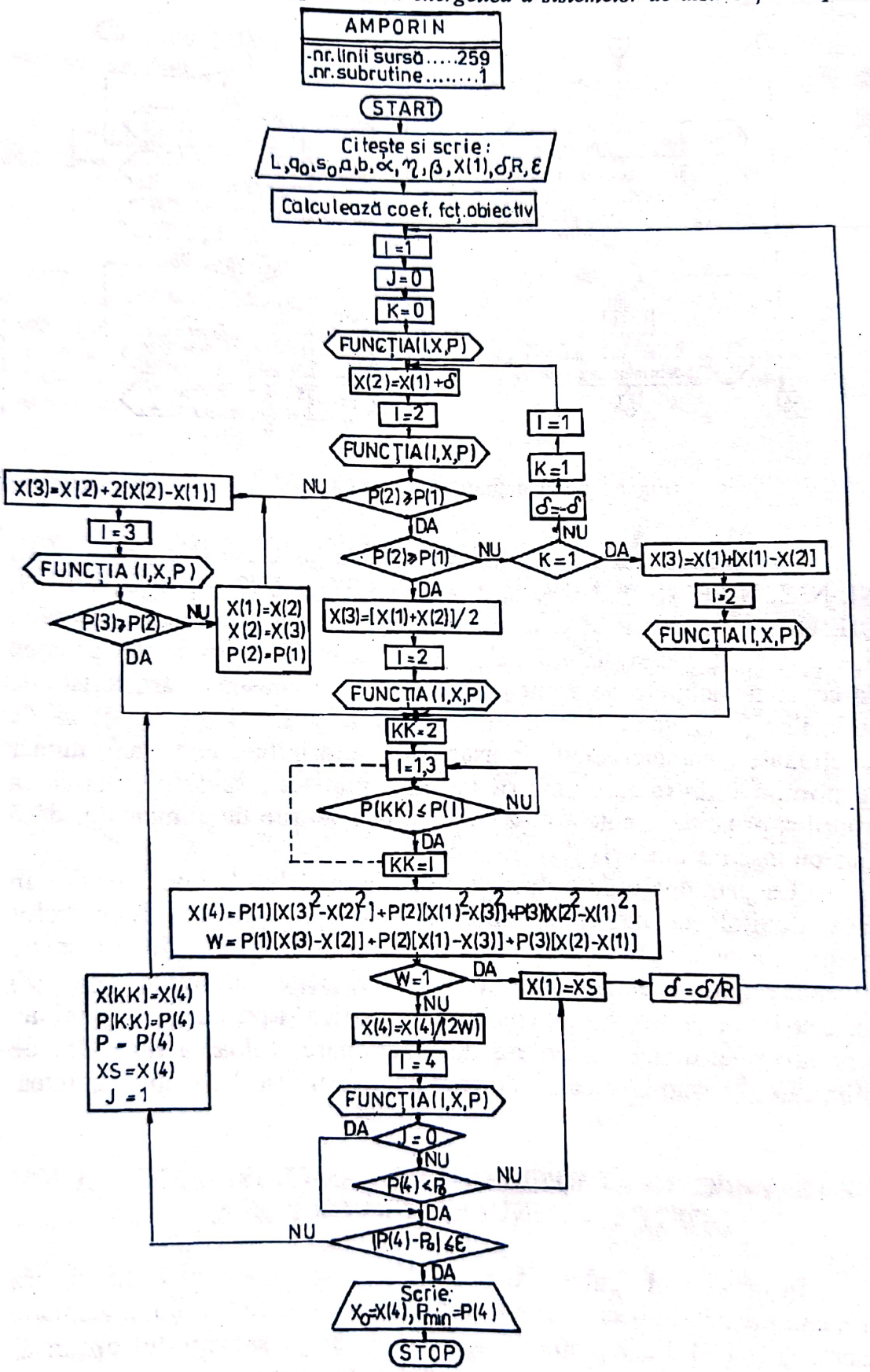


Fig. 6.10 – Schema logică a programului AMPORIN.

Scanned with OKEN Scanner

magistrală de distribuţie a apei, prin minimizarea sumei puterilor staţiilor de pompare exterioară şi interioară a sistemului, folosind algoritmul de căutare cu pas accelerat cuplat cu interpolarea pătratică.

Ca date de intrare se introduc: lungimea magistralei; debitul şi rezistenţa hidraulică specifică în secţiunea terminală a magistralei; parametrii a, b, α din relaţiile de variaţie a debitului şi rezistenţei hidraulice specifice; randamentul instalaţiilor de pompare; exponentul debitului în relaţia funcţională generală; abscisa punctului de start; coeficientul de reducere a pasului; valoarea critică de convergenţă.

Programul furnizează abscisa optimă de amplasare a rezervorului, raportată la extremitatea aval a magistralei, şi puterea totală minimă a staţiilor de pompare.

Programele specializate pentru calculul automat al sistemelor de distribuţie a apei, împreună cu instrucţiunile suplimentare de utilizare a acestora, se găsesc în biblioteca de programe a Catedrei de Instalaţii pentru Construcţii de la Universitatea „Politehnica" din Timişoara.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. ABRAMOV, N.N., *Teoria i metodica rasceta sistem podaci i raspredelenia vodî*, Stroizdat, Moskva, 1972.
2. ABRAMOV, N.N. et. al., *Rascet vodoprovodnîi şetei, Stroizdat*, Moskva, 1976.
3. AGENT, R., SCHUBERT, J., *Simplificări şi sistematizări în calculul reţelelor de distribuţie inelare*, Hidrotehnica, nr.1, 1957.
4. ALTSCHUL, A.D., *Ghidravliceskie poteri na trenie v truboprovodah*, Gosenergoizdat, Moskva,1964.
5. ANDREI, R., RĂSTURNOIU, C., *Matrici rare şi aplicaţiile lor*, Editura Facla, Timişoara, 1980.
6. ANTON, V., POPOVICIU, M., FITERO, I., *Hidraulică şi maşini hidraulice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978.
7. ARSENIE, M., ARSENIE, D., *Consideraţii privind calculul hidraulic al conductelor cu debit uniform distribuit*, Simpozionul „Probleme actuale în gospodărirea apelor", Timişoara, vol. I, 1982.
8. ARSENIE, D., *O formulă pentru calculul coeficientului de rezistenţă Darcy–Weisbach de utilizat la proiectarea conductelor sub presiune*, Hidrotehnica, nr.12, 1983.
9. ARTINA, S., *The use of mathematical programming techniques in designing hydraulic networks*, Mecanica, nr.9, 1973.
10. ASTRAHANŢEV, D., ASTRAHANŢEV, V., *Optimizarea multicriterială a reţelelor de distribuţie a apei din centre populate*, Simpozionul „Aplicaţii ale informaticii în proiectarea şi cercetarea de construcţii", Sibiu, 1986.
11. BABITT, E.H., *Water supply engineering*, McGraw–Hill, New York, 1962.
12. BADEA, Gh. ş.a., *Consideraţii economice asupra echipării staţiilor de hidrofor*, Conferinţa a XI-a de instalaţii, Sinaia, 1977.
13. BAUMANN, H.D., *Comment réduire le bruit engendré par des vanes réglage*, Mesures, nr.10, 1969.
14. BÂRSAN, E., IGNAT, C., *Dimensionarea unei reţele de alimentare cu apă după criteriul costului minim de construcţie*, Simpozionul „Probleme actuale în gospodărirea apelor", Timişoara, vol II, 1982.
15. BÂRSAN, E., IGNAT, C., *Analiza reţelelor de distribuţie a apei folosind modelul „conţinut"*, Hidrotehnica, nr.8, 1986.
16. BÂRSAN, E., IGNAT, C., *Water supply network analysis using the nodal equations*, Buletinul ştiinţific al I.P. Iaşi, 1987.
17. BÂRSAN, E., IGNAT, C., *Analiza tehnico–economică a reţelelor de distribuţie a apei*, Hidrotehnica, nr.6, 1987.
18. BERGE, C., *Teoria grafurilor şi aplicaţiile ei*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1969.
19. BERNARDIN, F., *Water quality criteria*, OMS, Copenhaga, 1975.
20. BERTSEKAS, D.P., *Constrained optimization and Lagrange multiplier methods*, Academic Press, New York, 1982.

Scanned with OKEN Scanner

21. BEVERIDGE, G., SCHECHETER, R., *Optimization: Theory and practice*, McGraw– Hill, New York, 1970.
22. BIENIEK, K., GRONING, N., *Die regelung der forderleistung von Kreiselpumper nuttels elektronischercher drehzahlverstellung,* Tehnische Berichte, nr.6, 1987.
23. BRATER, E.F., KING, W.H., *Handbook of hydraulics,* McGraw–Hill, New York, 1976.
24. BREMOND, R., VUICHARD, R., *Paramètres de la qualité des eaux,* Environment, Paris, 1973.
25. BRIGAUX, G., GARRICOU, M., *La plomberie les équipements sanitaires,* Paris, 1973.
26. BUCUR, C., *Metode numerice,* Editura Facla, Timişoara, 1983.
27. BURGHIU, V. ş.a., *Staţii de pompare fixe–îndrumător de proiectare,* Litografia I.A. Bucureşti, 1978.
28. BURGHIU, V. SANTĂU, I. ALEXANDRESCU, C., *Instalaţii de pompare,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
29. BURTON, T., *Pratique de la mesure et du contrôle dans l'industrie,* Dunod, Paris, 1965.
30. CACEU, M., *Dimensionarea optimă a reţelelor ramificate cu conducte sub presiune,* Hidrotehnica, nr.6, 1977.
31. CANNON, M.D., CULUUM, C.D., POLAK, E. *Theory of optimal control and mathematical programming,* McGraw–Hill, New York, 1970.
32. CARLIER, M., *Hidraulique générale et appliquée,* Eyrolles, Paris, 1980.
33. CAZACU, M., JUCAN, T. *Programarea în limbaj FORTRAN,* Editura Junimea, Iaşi, 1978.
34. CEMBROWICZ, R.G. HARRINGTON, J.J. *Capital–cost minimization of hydraulic network,* Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY3, 1973.
35. CENEDESE, A., MELE, P., *Optimal design of water distribution networks,* Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY2, 1978.
36. CHANDRASHEKAR, M., *Extended set of component in pipe networks,* Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr.HY1, 1980.
37. CHIRIAC, V., IVANCEA, G., ROJANSCHI, V., *Specificul lacurilor de acumulare ca sursă de alimentare cu apă: Tehnologii şi scheme de tratare,* Hidrotehnica, nr. 4, 1977.
38. CIOC, D. ş.a., *Hidraulică – culegere de probleme,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.
39. CIOC, D., *Funcţionarea pompelor în reţele de conducte,* Conferinţa de maşini hidraulice şi hidrodinamică, Timişoara, vol IV, 1984.
40. CIOMOCOŞ, T., *Consideraţii asupra calităţii apei în funcţie de consumatori,* Simpozionul „Probleme actuale în gospodărirea apelor", Timişoara, vol III, 1982.
41. CIOMOCOŞ, T., *Contribuţii la studiul separării alimentării cu apă potabilă şi industrială a centrelor urbane industriale,* Teză de doctorat, I.P. Timişoara, 1983.
42. COLLINS, M. et. al.,. *Multiple operating points in complex pump network,* Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY3, 1979.
43. CREŢU, Gh., *Optimizarea sistemelor de gospodărire a apelor,* Editura Facla, Timişoara, 1980.
44. CROSS, H., *Analysis of flow in networks of conduit and conductors,* Univ. of Illinois, Bul. nr.286, 1936.
45. CRUCERU, Tr., *Contribuţii la optimizarea reţelelor de distribuţie a apei calde şi reci în ansambluri de clădiri social–culturale,* Teză de doctorat, I.C. Bucureşti, 1983.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

I. Sârbu, OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI (*ENERGETICAL OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION SYSTEMS*)
Editura Academiei Române, București, 1997, 264 p.

SUMMARY

By contents and appıoach, the book represents a novelty in the speciality literature, being centred on the following categories of essential issues, intercon-ditioned in the context of the tackled theme: analysis of the structure of energetic consumptions and of the possible solutions for diminishing them following draft, constructive and organizing measures; promotion of new proceedings and methods for the functional and energetical optimization of water supplying systems; development and improvement of methods and patterns for calculating and analysing the water distribution systems; elaboration of a computerized calculation instrument for the application of the solutions presented. It is structured in six chapters:

1 – Introduction
2 – General optimizing directions of the energetic consumption in water supplying equipment
3 – Computation optimization of water distribution networks
4 – Functional and energetical optimization of water distribution systems
5 – Special problems in the operation of distribution systems
6 – Compuation programmes

The up-to-dateness and the diversity of the problems dealt with and the elevated scientific level are basic arguments which recommend this book, first of all to engineers, researchers workes, desingners and other specialists in the hydroworkings of public utility, being also useful and accessible to the students who attend specific faculties.

Autorul își exprimă gratitudinea față de generozitatea sponsorilor care au făcut posibilă apariția acestei lucrări:

- TAJTRANS S.A. Timișoara;
- HOLDING ENERGI-CO S.A. București;
- COMPREST S.A. Lugoj
- URBIS S.R.L. Arad;
- AQUAPOL S.A. Oradea;
- RAGM Alba-Iulia;
- METAL PRECOM Timișoara;
- INSTALAȚII TRUST S.A. Brașov;
- DOSETIMPEX S.R.L Timișoara;
- CONFORT S.A. Timișoara;
- DATCOMP S.R.L. Timișoara;
- TICUTI INTERNAȚIONAL S.R.L. Timișoara;
- COMERA S.R.L. Arad;
- INSTALAȚII GEVIS S.R.L. Deva;
- CONSTRUCTA S.R.L. Timișoara;
- TERAPLAST S.A. Bistrița;
- PLAN THERM S.R.L. Oradea;
- TEHNOLOGIE „APA VIEȚII" Timișoara;
- POLITUB S.R.L. Bistrița;
- INSTAR S.A. Oradea;
- SIMONT S.A. Sibiu;
- IZOMETAL S.A. Timișoara;
- MINICOMAT S.A. Timișoara;
- EUROSTIL PROIECT S.R.L. Deva;
- PATRAT S.R.L. Timișoara;
- GRANIT-CONSTRUCT S.R.L. Timișoara;
- EDILCONS S.R.L. Oradea;
- POLL & MAR S.R.L. Brașov;
- ABRAXAS S.R.L. Reșița;
- CEMA S.A. Sibiu;
- INDPROIECT S.A. Timișoara;
- RESING S.R.L. București;
- ALSERV S.R.L. Reșița;
- CONTOR ZENNER S.R.L. Arad.

Redactor: IRINA FILIP
Tehnoredactor: AUREL BUDNIC
Coperta: GIGI GAVRILĂ

Bun de tipar: 20.09.1997. Format: 16/70 × 100.
Coli de tipar: 16,5.
C.Z. pentru biblioteci mari { 628.1 : 621-50
621-50 : 628.1
C.Z. pentru biblioteci mici: 62

Tiparul executat la
S.C. „Helicon" Banat S.A.
1900 Timișoara, Calea Aradului 1
☎ 056/14 27 35*, 14 27 72*, 12 23 29
Telefax: 056/19 03 56
sub comanda nr. 415

Scanned with OKEN Scanner

Problema foarte actuală, atât pe plan intern, cât și pe plan mondial, a economiei de energie își găsește un ecou larg și în domeniul alimentărilor cu apă potabilă și industrială, iar lucrarea se înscrie în preocupările existente cu privire la reducerea consumului energetic și a pierderilor de apă în sistemele de distribuție a apei.

Volumul sistematizează și prezintă într-o manieră unitară rezultatele unei susținute activități de cercetare științifică privind optimizarea instalațiilor centralizate de distribuție a apei în scopul reducerii consumului de energie electrică care, în conjunctura economică și energetică generală, a devenit o problemă majoră, necesară și oportună, implicând, pe de o parte, optimizarea funcțional energetică a sistemului de distribuție a apei, atât pentru sistemele noi, cât și pentru cele aflate în exploatare, iar, pe de altă parte, elaborarea unor modele și programe de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză și de proiectare a rețelelor de distribuție, la care se adaugă găsirea de măsuri și soluții pentru reducerea substanțială a pierderilor și risipei de apă din sistem.

Aceste obiective principale ale lucrării sunt tratate pe parcursul a șase capitole.

Lucrarea cuprinde și o serie de exemple și aplicații numerice pentru o diversitate de probleme întâlnite în practică, care facilitează înțelegerea prezentării teoretice, și descrie un număr însemnat de programe ordinatoare originale implementate pe microcalculatoare de tip IBM-PC, constituindu-se într-un prețios instrument de lucru în activitatea didactică, precum și în cercetare, proiectare și exploatare.

Actualitatea și diversitatea problemelor tratate, nivelul științific ridicat, ordinea și rigurozitatea prezentării constituie tot atâtea argumente care recomandă această carte, în primul rând inginerilor, cercetătorilor, proiectanților, doctoranzilor și altor specialiști din domeniu, fiind însă utilă și accesibilă și studenților de la facultățile de profil.

ISBN 973-27-0575-2

Lei 20000

Scanned with OKEN Scanner